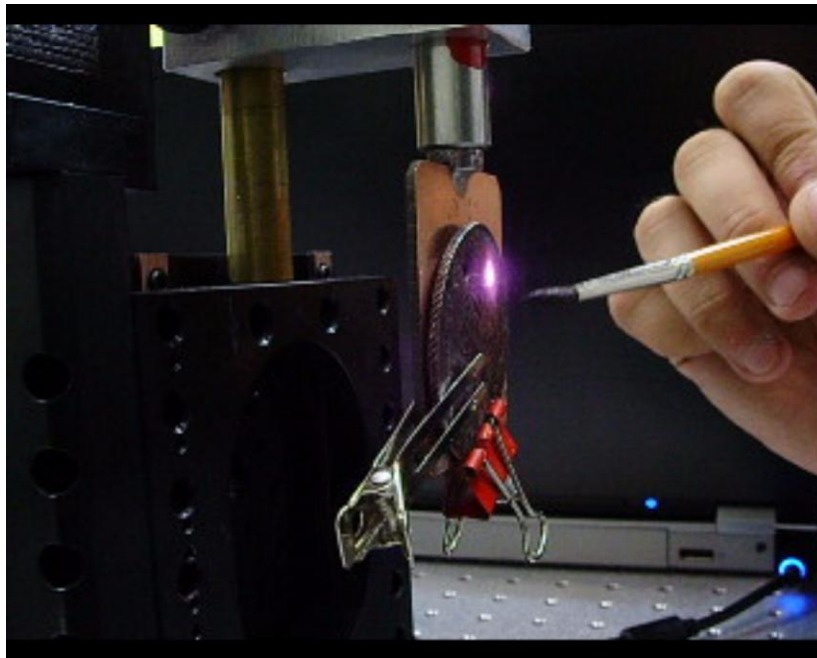


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ



ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ LASER ΣΕ ΑΡΧΑΙΑ ΝΟΜΙΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΟΛΙΤΙΣΜΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΤΣΙΛΙΚΑ ΙΩΑΝΝΗ

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract.....	3
Πρόλογος	4
Εισαγωγή	7
L.A.S.E.R	8
Αρχές λειτουργίας των LASER.....	9
Η Επιστήμη της Συντήρησης και Αποκατάστασης της Ιστορικής και Πολιτισμικής Κληρονομιάς.	10
Η συμβολή της χρήσης Laser στην Επιστήμη συντήρησης και Αποκατάστασης των Υλικών.	10
Οι βασικές δεοντολογικές αρχές της εφαρμογής των Laser στην συντήρηση και αποκατάσταση των υλικών.	11
Πρώτος Κύκλος Πειραμάτων	15
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ LASER ΣΕ ΝΕΟΤΕΡΑ ΝΟΜΙΣΜΑΤΑ	15
Δεύτερος κύκλος πειραμάτων-Εφαρμογή σε αρχαία νομίσματα	22
Αρχαία νομίσματα που χρησιμοποιήθηκαν	22
Πειραματική μελέτη καθαρισμού βιομηχανικών μεταλλικών δειγμάτων και παλαιών μεταλλικών έργων τέχνης με διάφορες πηγές laser.	36
Ναυπηγικά μέταλλα	36
Γενικά Συμπεράσματα των πρώτων κύκλων εργασιών.....	38
Η πολύτιμη εμπειρία της ενασχόλησης μας τόσο με νεότερα νομίσματα όσο και με αρχαία ευρύματα αλλά και με βιομηχανικά μέταλλα μας ώθησαν στο να βγάλουμε τα εξής συμπεράσματα:	38
Κατασκευή διατάξεων στο Ε.Μ.Π.....	39
Τρίτος κύκλος πειραμάτων.	42
ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	63
Τέταρτος κύκλος πειραμάτων	65
SEM και EDS.....	112
ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	125
Φωτογραφίες νομισμάτων του τρίτου κύκλου πειραμάτων	127
Αρχαία νομίσματα που χρησιμοποιήθηκαν στον τέταρτο κύκλο πειραμάτων	136
Βιβλιογραφία	146

Περίληψη

Στην εργασία που ακολουθεί, γίνεται μία προσπάθεια να μελετηθεί η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας laser υπεριώδους ορατού υπέρυθρου και βαθύ υπέρυθρου με νομίσματα από τις συλλογές του Νομισματικού Μουσείου Αθηνών όπως επίσης και γενικότερα μεταλλικών αντικειμένων και τεχνουργημάτων. Στόχος αυτής της προσπάθειας είναι η βελτίωση των μεθόδων καθαρισμού και συντήρησης νομισμάτων με χρήση ακτινοβολίας laser, συνεισφέροντας έτσι και στον ευρύτερο τομέα συντήρησης αρχαίων μεταλλικών τεχνουργημάτων.

Η έρευνα αρχικά έγινε σε νεότερα νομίσματα που διέθεταν παρόμοια χαρακτηριστικά (κράμα, διάβρωση) με τα αργυρά και χάλκινα αρχαία νομίσματα, που παραχωρήθηκαν από το Νομισματικό Μουσείο Αθηνών, και εκδόθηκαν σε τρεις διαφορετικές ιστορικές περιόδους, την αρχαιοελληνική, τη ρωμαϊκή και τη βυζαντινή. Οι διαδικασίες καθαρισμού πραγματοποιήθηκαν με ένα Q-switched Nd :YAG Laser (532nm, 355nm, 266nm) και με ένα Q-switched Nd :YAG Laser 1064 nm (της εταιρείας EL.EN) με χρονική διάρκεια παλμού 6ns. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ένα Er:YAG 2.94 μm ένα TEA-CO₂ 10.6 μm και ένα Ruby 694 nm όπως επίσης και Nd:YAG free (532 nm, 1064 nm της εταιρείας EL.EN) σε υγρές και ξηρές συνθήκες, με απευθείας ακτινοβολία ή με ηλεκτρονικό σύστημα μικρομετακίνησης. Επίσης ερευνήθηκε με τα ίδια μήκη κύματος και συσκευές laser η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με ναυπηγικό χάλυβα καθώς και με επιλεγμένα μεταλλικά αντικείμενα. Οι διαγνωστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων ήταν με SEM-EDS, XRF και LIBS

Αρχικά, στον πρόλογο, ορίζεται η διαδικασία συντήρησης και τα βασικά στάδια που αυτή περιλαμβάνει. Εν συνεχεία, αναδεικνύεται η συμβολή της χρήσης Laser στην επιστήμη της συντήρησης και αποκατάστασης των υλικών και τα πλεονεκτήματά της έναντι άλλων τεχνικών. Αναφέρονται επίσης οι βασικές δεοντολογικές αρχές, που διέπουν το επάγγελμα του συντηρητή και παρατίθεται το ισχύον ελληνικό νομικό πλαίσιο. Το κυρίως σώμα της εργασίας περιλαμβάνει την παρουσίαση και διεξοδική ανάλυση (τεκμηριωμένη με αποτελέσματα μετρήσεων και φωτογραφικό υλικό) δύο κύκλων πειραμάτων με νεότερα νομίσματα (χρονολογημένα μετά το 1836). Δύο κύκλους πειραμάτων με αρχαία νομίσματα, καθώς και ένα κύκλο με βιομηχανικά-ναυπηγικά μέταλλα και ένα με μεταλλικά αντικείμενα.

Abstract

The following project is an attempt to explore the interaction of ultraviolet and visible infrared as well as far infrared laser radiation with coins provided from the collections of the Numismatic Museum of Athens and the interaction with metal objects and artifacts in general. The principal goal of this effort is to improve the methods for coin maintenance and cleaning, using laser radiation, and therefore to contribute to the wider field of ancient metal artifacts conservation.

This research was initially conducted on modern coins of similar characteristics (alloy, corrosion) to silver and copper alloy ancient coins, which were granted by the Numismatic Museum of Athens, and were issued on three different historical periods, ancient Greek, Roman and Byzantine. Cleaning procedures were performed by a Q-switched Nd : YAG (532nm, 355nm, 266nm), as well as by a Q-switched Nd : YAG Laser 1064 nm (of EL.EN company) with pulse time duration 6ns. It was also used an Er:YAG 2.94 μm , a TEA-CO₂ 10.6 μm , a Ruby 694 nm and a Nd:YAG free (532 nm, 1064 nm of EL.EN company) in both wet and dry condition, either with direct irradiation or an electronic micro movement system. The interaction of shipbuilding steel and selected metal artifacts with laser radiation was also explored using the same wave length and laser devices. The SEM-EDS, XRF and LIBS were the diagnostic methods used for the study of the results and the conduction of conclusions

Initially, in the prologue, the preservation procedure and its basic phases are defined. Subsequently, the contribution of using laser techniques and its advantages is highlighted in relation to other techniques. The basic ethical principles that govern the conservator-restorer profession are also referred and the current Greek legal framework is provided as well. The thesis' main body includes a presentation and detailed analysis (fully documented with measurements results and photographic material) of two experimental cycles conducted with modern mint coins (dated after 1836). Two experimental cycles with ancient coins as well as a cycle with industrial-shipbuilding metals and one cycle with metal artifacts.

Πρόλογος

Η Παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Αλέξανδρο Σεραφετινίδη και μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα. Μυρσίνη Μακροπούλου και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Τσιγαρίδα.

Οι πειραματικές διαδικασίες διεξήχθησαν στα εργαστήρια του τομέα Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο πλαίσιο της ερευνητικής προσπάθειας που πραγματοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα «Ανάπτυξη Lasers και Εφαρμογές τους» του Τομέα Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σε συνεργασία με συντηρητές του Εργαστηρίου Συντήρησης του Νομισματικού Μουσείου Αθηνών, με χρηματοδότηση από το κοινωφελές ίδρυμα «John S. Latsis Public Benefit Foundation» καθώς και από τις διεθνείς συνεργασίες στις οποίες συμμετείχε το εργαστήριο του Ε.Μ.Π «Ανάπτυξη Lasers και Εφαρμογές τους» την Ελληνοϊταλική και Ελληνοπολωνική.

Στη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνεργάστηκα με αξιόλογους και έγκριτους επιστήμονες, η καθοδήγηση και συνδρομή των οποίων υπήρξε ανεκτίμητη. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους παρακάτω, οι οποίοι υπήρξαν πάνω απ' όλα παιδαγωγοί, για την συμβολή τους στην συγγραφή και ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Σεραφετινίδη, για την εμπιστοσύνη και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια της παρούσας διπλωματικής εργασίας από την ανάθεσή , την παρουσίαση έως και την εξέτασή της. Στη συνέχεια, θα ήθελα εκ βαθέων να ευχαριστήσω την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα. Μυρσίνη Μακροπούλου για την ηθική στήριξη και ενθάρρυνση καθώς και τις πολύτιμες επιστημονικές συμβουλές της. Συνακόλουθα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Τσιγαρίδα, που δέχθηκε να συμμετάσχει στην παρούσα τριμελή εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του.

Επίσης, ευχαριστώ το Εργαστήριο Ανάλυσης Υλικών του Ινστιτούτου Πυρηνικής Φυσικής του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» για την παραχώρηση προς χρήση των εγκαταστάσεών τους, και ιδιαίτερος τους Δρ. Ανδρέα Γ. Καρύδα, Δρ. Χαράλαμπο Ζαρκάδα και την κα. Βίκυ Κανταρέλου για την ευγενική συνεργασία τους στις μετρήσεις φθορισμού ακτίνων Χ. Ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στους Δρ. Αναστάσιο Τραυλό και Δρ. Νικόλαο Μπούκο του Ινστιτούτου Επιστήμης Υλικών, του Εθνικού Κέντρου Έρευνας φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» για την συνεργασία τους στις μετρήσεις SEM-EDS.

Θα ήθελα συγχρόνως να ευχαριστήσω το επιστημονικό προσωπικό του Νομισματικού Μουσείου Αθηνών και ειδικά τις Δρ. Δέσποινα Ευγενίδου (Διευθύντρια του Νομισματικού Μουσείου Αθηνών) και Έλενα Κοντού (Συντηρήτρια έργων τέχνης) τόσο για την διάθεση της συλλογής νομισμάτων, όσο και για την πολύτιμη βοήθειά τους στην αξιολόγηση των διαδικασιών καθαρισμού νομισμάτων.

Τέλος, ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω σε όλα τα μέλη της ερευνητικής ομάδας «Ανάπτυξη Lasers και Εφαρμογές τους» του Τομέα Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την αγαστή συνεργασίας μας. Συγκεκριμένα, θέλω να ευχαριστήσω τη Δρ. Ε. Δρακάκη, τον Β.Klinkenberg και τον Δρ. Νίκο Καραδημητρίου για τις δημιουργικές ώρες που περάσαμε μαζί στα εργαστήρια, την ουσιαστική συνεισφορά τους στην πειραματική διαδικασία, καθώς και την αμέριστη συνδρομή τους στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους υποψήφιο Διδάκτορα Μαθηματικών Κιουβρέκη Ιωάννη στην φυσικό εφαρμογών Γεωργιάδη Άννα καθώς και στην ιστορικό Ματσούκα Σταυρούλα, για τις πολύτιμες επιστημονικές συμβουλές τους.

Θεωρώ ότι πρέπει να τονιστεί η δυνατότητα που μου δώθηκε από τον καθηγητή Α.Α Σεραφετινίδη να συμμετέχω σε διεθνής συνεργασίες όπως η Ελληνο-Πολωνική και η Ελληνο-Ιταλική όπως και σε υπότροφο πρόγραμμα του ιδρύματος Λάτση.

Η συμμετοχή σε αυτές τις δραστηριότητες κατέληξε σε δημοσιεύσεις και συμμετοχή σε διεθνή συνέδρια τόσο Φυσικής όσο και σε Διεθνή συνέδρια Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης.

Παρακάτω παρατίθενται οι δημοσιεύσεις στις οποίες ήμουν μέλος της συγγραφικής ομάδας.

A. “Cleaning and microanalysis of corroded metal coins using laser techniques”, E. Drakaki, N. Karadimitriou, I. Tsilikas and A.A. Serafetinides, Proceedings of the International Conference Laser Optics Berlin 2008

B. “Evaluation of laser cleaning of ancient Greek, Roman and Byzantine coins”, E. Drakaki, B. Klinkenberg, I. Tsilikas, E. Zoros, M. Kandyla, A.A. Serafetinides, V. Kantarellou, A.G. Karydas, D. Evgenidou, E. Kontou, N. Katsikosta, P. Tselekas, D. Evgenidou, Proceedings of the International ECASIA 2009 Conference, Andalya, Turkey, 2009.

Γ. “Laser cleaning and characterization of old corroded metal coins”, E. Drakaki, B. Klinkenberg, I. Tsilikas, E. Zoros, M. Kandyla, A.A. Serafetinides, E. Kontou, N. Boukos, Proceedings of the International COLA 2009 Conference, Singapore, 2009.

Επίσης το 2009 στα πλαίσια του Προγράμματος «Ελλάδα Επιστήμη και Πολιτισμός» του Ιδρύματος Λάτση παρουσιάσαμε στο μέγαρο Λάτση σε ημερίδα ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της εργασίας μας. Όποιος επιθυμεί στην ιστοσελίδα του ιδρύματος υπάρχει η παρουσίαση μας.

Όλα τα παραπάνω είναι άμεσα συνδεδεμένα με την παρούσα διπλωματική αφού οι εργασίες μου στα παραπάνω αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι της.

Εισαγωγή

Laser...inter eximia naturae dona numeratum plurimis compositionibus inseritur.

Το Laser ,που περιλαμβάνεται μεταξύ των πιο θαυμαστών δώρων της φύσης προσφέρεται για μια ποικιλία εφαρμογών.

Πλίνιος, Φυσική Ιστορία ,XXII,49 (1^{ος} αιώνας μ.χ)

Ήδη από τον 6^ο αιώνα π.Χ ήταν γνωστό το Laser τόσο στους Έλληνες όσο και στους Ρωμαίους, το οποίο ευδοκίμωσε στις ακτές της Βόρειας Αφρικής.

Το Laser ήταν στην πραγματικότητα φυτό, το οποίο ήταν γνωστό για τις θαυματουργές και τις ιαματικές του ιδιότητες σε μια πληθώρα ασθενειών. Χρησιμοποιούνταν και στην κουζίνα σαν καρύκευμα και η αξία του θεωρείτο τόσο μεγάλη, ώστε το αποθήκευαν σε χρηματοκιβώτια μαζί με ράβδους χρυσού.



Αρχαίο ασημένιο νόμισμα κυρηναϊκής που απεικονίζει ένα δέμα Laser



Αρχαίο ασημένιο νόμισμα κυρηναϊκής που απεικονίζει ένα καρπό/σπόρο Laser

Αναφορές στο φυτό laser έχουν επίσης γίνει από τον Ηρόδοτο : «Ιστορία ,II,III,IV» και από τον Πausανία: « Ελλάδος Περιήγησις, 3.16.1–3»

L.A.S.E.R

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας.

Φυσικά το ακρωνύμιο αυτό αφορά στις γνώστες διατάξεις LASER και δεν έχει σχέση με το γνωστό στον αρχαίο κόσμο φυτό Laser, πάρα μόνο στο επίπεδο συγκερασμού της πολιτισμικής κληρονομιάς του ανθρώπινου είδους και της διατήρησής της με την σύγχρονη πειραματική φυσική.

Ήδη από το 1917 ο Albert Einstein έθεσε τις βάσεις για το **M.A.S.E.R** (**M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation)- μέσω της εργασίας του- «On the Quantum Theory of Radiation» το οποίο αποτέλεσε τον «πρόγονο» του LASER.

Η πρώτη διάταξη MASER κατασκευάστηκε το 1953 από την ερευνητική ομάδα του Charles Hand Townes, η οποία λειτούργησε με παρόμοιες αρχές, όπως το LASER, αλλά με την διαφορά ότι ενίσχυε την ακτινοβολία μικροκυμάτων και όχι ορατές ή υπέρυθρες ακτινοβολίες.

Το 1960 ο Theodore Maiman κατασκεύασε για πρώτη φορά λειτουργική διάταξη LASER. Η διάταξη αυτή είναι ένα LASER στερεάς κατάστασης με ενεργό υλικό τεχνητό ρουβίδιο (Ruby) οπτικά αντλούμενο από λυχνίες (flash) και παράγει ακτινοβολία ορατή στο ερυθρό 694nm.

Από εκεί και πέρα η εξέλιξη των διατάξεων LASER υπήρξε ραγδαία γεγονός, που οφείλεται στην πληθώρα των εφαρμογών τους και στις εκπληκτικές ιδιότητές τους.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει σαν στόχο να αναδείξει την συμβολή των Θετικών Επιστημών στην διατήρηση, συντήρηση και αποκατάσταση σημαντικών τεχνουργημάτων του Αρχαίου Κόσμου. Να αποτελεί μέρος των αποδείξεων που υπάρχουν οτι οι Θετικές Επιστήμες ανοίγουν διαδρόμους τόσο στο μέλλον όσο και διαυλους επικοινωνίας με το παρελθόν με μοναδικό στόχο την βελτίωση των κοινωνικών δομών και κοινωνικών συνθηκών.

Ετσι δεν μπορεί παρα να αφιερωθεί στους ανθρώπους που παλευουν καθημερινα για την αλήθεια την αξιοπρέπεια και την ελευθερία.

Αρχές λειτουργίας των LASER

Οι συσκευές LASER εκμεταλλεύονται τρία βασικά φαινόμενα που συμβαίνουν όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αλληλεπιδρά με ένα υλικό, δηλαδή, τις διεργασίες της αυθόρμητης και εξαναγκασμένης εκπομπής και τη διεργασία της απορρόφησης.

Οι βασικές αρχές λειτουργίας των LASER και η συμπεριφορά τους είναι κλάδος της κβαντικής ηλεκτρονικής και κβαντικής οπτικής που σαν κλάδος καθιερώθηκε τα τελευταία χρόνια.

Τα λέιζερ αποτελούνται από το ενεργό υλικό και την οπτική κοιλότητα. Το ενεργό υλικό μετατρέπει την εξωτερική ενέργεια σε δέσμη φωτός. Συνήθως είναι υλικό με συγκεκριμένο μέγεθος, σύσταση, καθαρότητα και μορφή, που παράγει φως μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής, η οποία αποτελεί κβαντομηχανική διαδικασία που προτάθηκε από τον Αλβέρτο Αϊνστάιν για να ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Το ενεργό υλικό αντλεί ενέργεια από μία εξωτερική πηγή. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι ηλεκτρικές ή φωτεινές, όπως η λυχνία έκλαμψης (flash lamp) ή κάποια άλλη πηγή λέιζερ. Η ενέργεια που απορροφάται αποτίθεται στα σωματίδια του ενεργού υλικού, έτσι ώστε αυτά να οδηγηθούν σε μία διεγερμένη κβαντική κατάσταση. Όταν ο αριθμός των σωματιδίων που βρίσκονται στη διεγερμένη κατάσταση είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των ατόμων που βρίσκεται στη βασική κατάσταση, επιτυγχάνεται αντιστροφή πληθυσμού. Τότε μία δέσμη φωτός που περνάει μέσα από το υλικό έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να οδηγήσει σε εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων από ό,τι σε εξαναγκασμένη απορρόφηση, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ενίσχυση της δέσμης. Ένα διεγερμένο ενεργό υλικό μπορεί να λειτουργήσει επίσης και ως οπτικός ενισχυτής.

Τα χαρακτηριστικά του φωτός που παράγονται από εξαναγκασμένη εκπομπή είναι παρόμοια με αυτά του αρχικού φωτός, ως προς το μήκος κύματος, την πόλωση και τη φάση. Το φως του λέιζερ που παράγεται είναι σύμφωνο, ενώ η σταθερότητα της πόλωσης και η μονοχρωματικότητα εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της οπτικής κοιλότητας.

Η οπτική κοιλότητα αποτελεί παράδειγμα κοιλότητας ταλάντωσης και περιέχει μια σύμφωνη δέσμη φωτός μεταξύ δύο ανακλαστικών επιφανειών, έτσι ώστε κάθε φωτόνιο να περνά τουλάχιστον δύο φορές από το ενεργό υλικό προτού φύγει από την οπή εξόδου της πηγής λέιζερ ή χαθεί λόγω απορρόφησης ή περίθλασης. Αν η ενίσχυση που προέρχεται από την επαναλαμβανόμενη διέλευση του φωτός μέσα από το ενεργό υλικό είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες της κοιλότητας, τότε εμφανίζεται εκθετική αύξηση της ισχύς του φωτός μέσα στην κοιλότητα. Όμως, κάθε εξαναγκασμένη εκπομπή αναγκάζει ένα σωματίδιο να επιστρέψει από την διεγερμένη κατάσταση στην βασική, μειώνοντας έτσι την ικανότητα του ενεργού υλικού για επιπλέον ενίσχυση. Όταν αυτό το φαινόμενο μεγιστοποιείται τότε λέμε ότι η ενίσχυση έχει φτάσει σε *κορεσμό*. Η συνθήκη όπου η ισχύς άντλησης γίνεται περίπου ίση με την τιμή κορεσμού της ενίσχυσης και με τις απώλειες της κοιλότητας οδηγεί σε κατάσταση ισορροπίας της ισχύς του λέιζερ μέσα στην κοιλότητα. Αυτή η τιμή ισορροπίας καθορίζει και το σημείο λειτουργίας του λέιζερ. Αν η ισχύς άντλησης είναι πολύ μικρή, η ενίσχυση δεν είναι αρκετή ώστε να καλυφθούν οι απώλειες του ταλαντωτή, με αποτέλεσμα να εκπέμπεται πολύ μικρή ένταση λέιζερ. Η ελάχιστη τιμή ισχύς άντλησης που απαιτείται για την παραγωγή λέιζερ ονομάζεται *κατώφλι λέιζερ*. Το ενεργό υλικό ενισχύει οποιοδήποτε φωτόνιο περάσει μέσα από αυτό, αλλά μόνο αυτά που είναι ευθυγραμμισμένα με την κοιλότητα μπορεί να περάσουν περισσότερο από μια φορά μέσα από το ενεργό υλικό για να επιτευχθεί σημαντική ενίσχυση.

Αν η δέσμη δημιουργείται και διαδίδεται σε ελεύθερο περιβάλλον και όχι μέσα σε κυματοδηγούς (όπως στην περίπτωση των οπτικών ινών), τότε η ένταση του φωτός εμφανίζει κανονική (Γκαουσιανή) κατανομή, κάθετα στην διεύθυνση διάδοσής της. Η δέσμη του λέιζερ είναι σχεδόν απόλυτα ευθυγραμμισμένη, δηλαδή δεν αποκλίνει. Παρόλα αυτά, τέλεια ευθυγραμμισμένη δέσμη δεν μπορεί να υπάρξει λόγω περίθλασης.

Η Επιστήμη της Συντήρησης και Αποκατάστασης της Ιστορικής και Πολιτισμικής Κληρονομιάς.

Ως «συντήρηση» ορίζεται η διαδικασία της διάσωσης των τεχνουργημάτων, τα οποία αποτελούν τα υλικά κατάλοιπα του παρελθόντος. Η διάσωση και αποκατάσταση των τεχνουργημάτων είναι ιθύνουσας σημασίας από ιστορικής, κοινωνιολογικής και πολιτισμικής άποψης, καθώς τα πρωτότυπα τεχνουργήματα είναι αναντικατάστατα (Yang sook Koh. (2005) Laser Cleaning as a Conservation Technique for Corroded Metal Artifacts. Luleå, Sweden) Κατ' επέκταση ένας από τους κυριότερους στόχους της συντήρησης και αποκατάστασης είναι να διασφαλίσει το γεγονός ότι υλική πολιτισμική κληρονομιά θα παραμένει διαθέσιμη τόσο για παροντική όσο και για μελλοντική επιστημονική μελέτη.

Τα βασικά στάδια μία επιτυχημένης διαδικασίας διάσωσης και αποκατάστασης ενός τεχνουργήματος, είναι η γνώση (Knowledge) και πλήρης κατανόηση (Comprehension) του υλικού κατασκευής ενός τεχνουργήματος, καθώς επίσης και η δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής της ήδη προϋπάρχουσας γνώσης και τεχνικών σε νέα πεδία εφαρμογών, η δυνατότητα ανάλυσης των δεδομένων της έρευνας και η ικανότητα δημιουργίας νέων συσχετισμών, στη συνέχεια η σύνθεση των πληροφοριών, και στο τελικό στάδιο η αξιολόγηση των επιστημονικών πορισμάτων, η οποία συμπεριλαμβάνει την ικανότητα της επιστημονικής κριτικής, την επιχειρηματολογία υπεράσπισης της έρευνας καθώς και την αναδιατύπωση των αρχικών θέσεων σε περίπτωση εσφαλμένων πορισμάτων.

Η συμβολή της χρήσης Laser στην Επιστήμη συντήρησης και Αποκατάστασης των Υλικών.

Η τεχνολογική «έκρηξη» των τελευταίων δεκαετιών εκτός από τη βελτίωση των συνθηκών ζωής, έθεσε στη διάθεση της επιστήμης ένα πλήθος ρηζικέλευθων «εργαλείων». Υπό αυτό το πρίσμα καίρια υπήρξε και η συμβολή των συσκευών Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) στο επιστημονικό πεδίο της συντήρησης των υλικών. Τα Laser απομακρύνουν τις ανεπιθύμητες επικαθίσεις καθώς και παλαιότερα υλικά προηγούμενων προσπαθειών συντήρησης με σκοπό την διάσωση του αρχικού υλικού του αντικειμένου. Η τεχνολογία των Laser βασίζεται στην επιλεκτική εξαέρωση των ανεπιθύμητων επικαθίσεων, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα της οπτικής απορρόφησης και βρίσκονται πάνω στην ανακλαστική επιφάνεια του αντικειμένου/τεχνουργήματος.

Οι βασικές δεοντολογικές αρχές της εφαρμογής των Laser στην συντήρηση και αποκατάσταση των υλικών.

Σύμφωνα με το ελληνικό δικονομικό σύστημα το επάγγελμα, η δραστηριότητα και οι υποχρεώσεις του συντηρητή έναντι των έργων, οριοθετούνται βάσει νομοθετήματος, δημοσιευμένου στην εφημερίδα της κυβερνήσεως ΦΕΚ: Β' 382/24.3.2000. Το κάτωθι κείμενο αναδημοσιεύεται στην ιστοσελίδα <http://pesa.com.gr/page.php?kodikas> :

ΘΕΜΑ: Κώδικας Δεοντολογίας Επαγγέλματος Συντηρητή Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Η ΥΠΟΥΡΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις:

α) Του εδ. ββ της παρ. 6δ του άρθρου 9 του Ν. 2557/97 "Θεσμοί, μέτρα και δράσεις πολιτιστικής ανάπτυξης (ΦΕΚ Α/271).

β) Του άρθρου 13 του Π.Δ. 941/77 "Περί Οργανισμού του Υπουργείου Πολιτισμού και Επιστημών" (ΦΕΚ Α/320).

2. Το γεγονός ότι από την παρούσα δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του Κρατικού Προϋπολογισμού, αποφασίζουμε:

Καταρτίζουμε τον Κώδικα Δεοντολογίας Επαγγέλματος Συντηρητή Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, ο οποίος έχει ως εξής:

A. Γενικές Αρχές

Άρθρο 1

Ο Κώδικας Δεοντολογίας περιέχει τις αρχές, τις υποχρεώσεις και τη συμπεριφορά που πρέπει να ακολουθεί αυστηρώς κατά την άσκηση του επαγγέλματός του ο Συντηρητής Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης ο οποίος κατέχει την Άδεια Άσκησης Επαγγέλματος, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 2557/97 άρθ. 9 παρ. δ "Περί θεσμών μέτρων και δράσεων πολιτιστικής ανάπτυξης" (ΦΕΚ Α/271).

Άρθρο 2

Το επάγγελμα του Συντηρητή αρχαιοτήτων και έργων τέχνης είναι δραστηριότητα με χαρακτήρα δημοσίου συμφέροντος, αφού περιλαμβάνει επεμβάσεις σε πολιτιστικά αγαθά των οποίων η προστασία, στο μέγιστο ποσοστό τους ανήκει στο κράτος, αλλά και σε Νομικά ή Φυσικά Πρόσωπα και διέπεται από ειδική νομοθεσία. Συνεπώς πρέπει να ασκείται στα πλαίσια της ισχύουσας νομοθεσίας για την προστασία των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς των Εθνικών και των Κοινοτικών σχετικών Νόμων, καθώς και των συναφών Κανονισμών και Συμφωνιών, ειδικότερα σε ότι αφορά θέματα υγείας και κανόνων υγιεινής, ασφάλειας, ασφάλισης, απασχόλησης, κλοπής, παράνομης κατοχής, ιδιοκτησίας κ.λ.π.

Άρθρο 3

Ο Συντηρητής εργάζεται άμεσα επί των αρχαιοτήτων και των έργων τέχνης, έχει δε προσωπική ευθύνη έναντι του κυρίου του έργου το οποίο συντηρεί, αλλά και ηθική ευθύνη έναντι του

κοινωνικού συνόλου και των μελλοντικών γενεών, γενικότερα, που είναι εξ ορισμού οι κατ' εξοχήν χρήστες των αγαθών της πολιτιστικής κληρονομιάς. Δικαιούται να εργάζεται χωρίς παρακώλυση, με πλήρη ελευθερία και ανεξαρτησία κινήσεων, αρνούμενος εκτέλεση εντολής που τεκμηριωμένα είναι αντίθετη με τους όρους ή το πνεύμα του παρόντος Κώδικα.

Άρθρο 4

Η μη συμμόρφωση προς τις αρχές, υποχρεώσεις και απαγορεύσεις του παρόντος Κώδικα Δεοντολογίας, συνιστούν αντιεπαγγελματική πρακτική η οποία δυσφημεί το επάγγελμα. Επιπλέον αποτελούν πειθαρχικά παραπτώματα, τα οποία επισύρουν πειθαρχικές κυρώσεις, ανεξάρτητα από κάθε άλλη τυχόν ευθύνη κατά τους κείμενους νόμους. Τα αρμόδια προς εκδίκαση πειθαρχικών παραπτωμάτων όργανα, η σχετική διαδικασία και οι κυρώσεις θα οριστούν μετά την σύσταση Επιμελητηρίου Συντηρητών Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης. Σε πειθαρχική διαδικασία υπόκειται επίσης κάθε συντηρητής που καταδικάζεται αμετάκλητα για αυτουργία ή συμμετοχή σε ποινικό αδίκημα σχετικά με την επαγγελματική του δραστηριότητα.

Άρθρο 5

Με τους όρους αρχαιότητες, έργα τέχνης, αντικείμενα ιστορικής, καλλιτεχνικής ή επιστημονικής σημασίας, αγαθά πολιτιστικής κληρονομιάς, έργα, αντικείμενα κ.λ.π. οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο κείμενο του παρόντα κώδικα, εννοούνται τα "κινητά ή ακίνητα πολιτιστικά αγαθά", των οποίων η συντήρηση και αποκατάσταση ανήκει στις αρμοδιότητες των Συντηρητών Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης.

B. Υποχρεώσεις έναντι των Έργων

Άρθρο 6

Ο Συντηρητής υποχρεούται να σεβαστεί την αισθητική, την ιστορική, την υλική και δομική αρτιότητα των αντικειμένων τα οποία αναλαμβάνει να συντηρήσει.

Άρθρο 7

Ο Συντηρητής και οι συνεργάτες του, υποχρεούνται να λαμβάνουν υπόψη τους τον κοινωνικό χαρακτήρα που εμπεριέχει η χρήση των αντικειμένων που συντηρούν, τα οποία εξ ορισμού απευθύνονται σε ένα ευρύ σύνολο χρηστών.

Άρθρο 8

Ο Συντηρητής οφείλει να εργάζεται με τις υψηλότερες προδιαγραφές του επαγγέλματος, ανεξαρτήτως της τυχόν εκτιμώμενης αγοραστικής αξίας του έργου το οποίο συντηρεί. Συμβιβασμοί ως προς το περιεχόμενο του Κώδικα, δεν επιτρέπονται ούτε στις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι δυνατότητες του Συντηρητή περιορίζονται από αντικειμενικές συνθήκες κάτω από τις οποίες πρέπει ενδεχομένως να γίνουν επεμβάσεις συντήρησης. Σε περιπτώσεις εφαρμογής ειδικών τεχνικών για τη συντήρηση μεγάλων συνόλων διαφορετικών αντικειμένων, οι επεμβάσεις που επιλέγονται πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους και να σέβονται την ακεραιότητα όλων των επί μέρους αντικειμένων που τα συναποτελούν.

Άρθρο 9

Ο Συντηρητής πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν του όλες τις αρχές της προληπτικής συντήρησης και να εφαρμόζει τα αναγκαία προληπτικά μέτρα, προσαρμόζοντας το περιβάλλον στις ειδικές απαιτήσεις του έργου, πριν την εκτέλεση των κυρίως εργασιών συντήρησης αλλά και μετά από αυτήν. Οι επεμβάσεις συντήρησης πρέπει να περιορίζονται στην ελάχιστη αναγκαία αγωγή, η οποία πρέπει να εντάσσεται σε τεκμηριωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο.

Άρθρο 10

Ο Συντηρητής οφείλει να χρησιμοποιεί προϊόντα, υλικά, τεχνικές και μεθόδους, που σύμφωνα με την σύγχρονη γνώση δεν βλάπτουν το αντικείμενο, τους ανθρώπους και το περιβάλλον. Οι επεμβάσεις καθώς και τα χρησιμοποιούμενα υλικά, πρέπει να είναι συμβατά με τα πρωτογενή υλικά δομής του αντικειμένου, ευχερώς, απολύτως και ακινδύνως αντιστρέψιμα, δεν πρέπει να θίγουν την αυθεντικότητα του έργου και να παρακωλύουν μελλοντικές εξετάσεις, επεμβάσεις και αναλύσεις.

Άρθρο 11

Οι τυχόν συμπληρώσεις του έργου πρέπει να είναι απολύτως αιτιολογημένες και τεκμηριωμένες, να γίνονται με τα κατάλληλα υλικά, που πρέπει να είναι συμβατά με τα δομικά υλικά του έργου, να είναι αντιστρέψιμα και ευκόλως ανιχνεύσιμα με κοινές μεθόδους εξέτασης και να μη δημιουργούν συγχύσεις όσον αφορά την αυθεντικότητα του έργου.

Άρθρο 12

Τα έγγραφα και το εν γένει υλικό τεκμηρίωσης, πρέπει απαραιτήτως να συνοδεύουν το συντηρούμενο ή συντηρημένο αντικείμενο και να περιλαμβάνουν τα διαγνωστικά στοιχεία από την εξέταση των δομικών υλικών που το αποτελούν, τα αίτια της διάβρωσής του και τους κινδύνους που συνεπάγεται η μη συντήρησή του, την αναλυτική περιγραφή των επεμβάσεων συντήρησης και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και κάθε άλλη συναφή πληροφορία που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της εργασίας. Τα στοιχεία αυτά είναι αναπόσπαστο μέρος του έργου και πρέπει να είναι διαθέσιμα σε κάθε νόμιμη πρόσβαση.

Άρθρο 13

Ο Συντηρητής αναλαμβάνει εργασίες συντήρησης των κατηγοριών αντικειμένων που αναφέρονται στην Άδεια Ασκήσεως Επαγγέλματος και μόνον εφόσον α) διαθέτει την επαρκή γνώση και εμπειρία και β) η εφαρμογή της συγκεκριμένης επέμβασης συντήρησης αναδεικνύει όλα τα στοιχεία του έργου και να είναι προς το συμφέρον του.

Άρθρο 14

Ο Συντηρητής πρέπει να διευρύνει και να εμπλουτίζει συνεχώς τις γνώσεις του και τις ικανότητές του με σκοπό τη συνεχή ποιοτική βελτίωση της εργασίας του.

Άρθρο 15

Όταν είναι αναγκαίο ο Συντηρητής συνεργάζεται, στα πλαίσια ενός θεσμοθετημένου διεπιστημονικού πλαισίου για τη συντήρηση και προστασία των αγαθών της πολιτιστικής κληρονομιάς, με άλλους επιστήμονες, ειδικούς στην εφαρμοσμένη έρευνα και στην ανάλυση, ιστορικούς τέχνης, αρχαιολόγους κ.α. και συμπράττει στην πλήρη ανταλλαγή πληροφοριών σχετικών με το συντηρούμενο έργο.

Άρθρο 16

Σε περιπτώσεις έκτακτης και επείγουσας ανάγκης κατά την οποία ένα έργο ή ένα σύνολο έργων διατρέχουν άμεσο κίνδυνο, ο Συντηρητής υποχρεούται να παράσχει κάθε δυνατή βοήθεια, ανεξάρτητα από τον τομέα της ειδικότητάς του.

Άρθρο 17

Ο Συντηρητής δεν πρέπει να αφαιρεί υλικά από το αντικείμενο που συντηρεί εκτός αν αυτό είναι αναπόφευκτο για τη συντήρησή του ή παρεμβαίνει ουσιαστικά στην ιστορική ή αισθητική αξία του έργου. Τα υλικά που αφαιρούνται πρέπει να φυλάσσονται, αν είναι δυνατόν, και η διαδικασία να τεκμηριώνεται εγγράφως.

Άρθρο 18

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις κατά τις οποίες η χρήση ενός έργου είναι ασύμβατη με θεμελιώδεις όρους και συνθήκες για την συντήρηση και την προστασία του, ο Συντηρητής οφείλει να προτείνει στον ιδιοκτήτη ή στον νόμιμο κάτοχό του, ως λύση την κατασκευή αντιγράφου, εισηγούμενος και τον κατάλληλο τρόπο κατασκευής του ώστε να μην κινδυνεύσει το πρωτότυπο.

(**πηγή:** πανελλήνια ένωση συντηρητών αρχαιοτήτων : <http://pesa.com.gr/page.php?orismos>)

Εναρμονισμένοι με τον Νόμο άλλα και την αγάπη με την οποία θα προσεγγίζαμε κομμάτια της πολιτισμικής μας κληρονομιάς αποφασίστηκε να γίνει ένας πρώτος κύκλος πειραμάτων με νεότερα νομίσματα. Ο λόγος είναι ότι δεν μπορούσαμε να διακινδυνεύσουμε Αρχαία ευρύματα χωρίς να έχουμε μια πληθώρα αποτελεσμάτων για να ξερούμε ποιες θα είναι οι πιο κατάλληλες εφαρμογές.

Πρώτος Κύκλος Πειραμάτων

Ο πρώτος κύκλος πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες εργαστηρίου επείτα απο την κατασκευή των πειραματικών διατάξεων και της απόφασης σχετικά με το ποιό Laser και μήκη κύματος θα χρησιμοποιούσε η εργαστηριακή ομάδα χωρίζεται σε 3 βασικές κατηγορίες.

1. Στην χρήση και εφαρμογή Laser σε νεότερα νομισμάτα (κοπής μετά το 1836) που είτε δεν είχαν διαβρωση είτε είχαν φυσική η τεχνητή.
2. Στην χρήση και εφαρμογή Laser σε βιομηχανικά μέταλλα.
3. Στην χρήση και εφαρμογή Laser σε αρχαία ευρήματα χρησιμοποιώντας την γνώση και εμπειρία των προηγούμενων διαδικασιών.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ LASER ΣΕ ΝΕΟΤΕΡΑ ΝΟΜΙΣΜΑΤΑ

Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός νεότερων νομισμάτων έτσι ώστε να έχουμε πολλές διαφορετικές συστάσεις στα διάφορα μέταλλα (π.χ χαλκός, κασσίτερος, άργυρος, σίδηρος) με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια μεγάλη γκάμα αποτελεσμάτων και να μπορούμε να ανατρέξουμε ανάλογα.

Ομοίως για λόγους δημιουργίας μια τράπεζας αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά Laser και μήκη κύματος.

I.Nd:YAG 266 nm

II.Nd:YAG 532 nm

III.Nd:YAG 1064 nm

IV.TEA-CO₂ 10.6 μm

V.Er:YAG 2.94 μm

VI.Ruby-694 nm

Τα Laser χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες συχνότητες και σε διάφορες πυκνότητες ενεργειας και πάλι για λόγους πλουραλισμού των αποτελεσμάτων.



Φώτο:Κυπριακό νόμισμα 1960.Εφαρμογή Nd:YAG 532 nm.Διακρίνεται η απομάκρυνση όλων των οξειδώσεων αλλά υπάρχει ταυτόχρονα υπερκαθαρισμός της επιφάνειας που είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή της πατίνας.

Τα πρώτα αποτελέσματα αν και οπτικά ήταν απογοητευτικά (αποχρωματισμοί της επιφάνειας,υπερκαθαρισμός,καταστροφή της επιφάνειας απο λιώσιμο εξ' αιτίας της μεγάλης θερμικής διάχυσης) έδειξαν την δυναμική που μπορεί να έχουν οι διατάξεις Laser σε πραγματικές συνθήκες.

Η κατευθυντικότητα των Laser σε συνδυασμό με καθοδήγηση απο οπτικές ίνες όπως επίσης και η χρήση φίλτρων για ελεγχόμενες πυκνότητες ενέργειας έφεραν καλύτερα αποτελέσματα.

Η χρήση λεπτών στρωματων απιονισμένου νερού κατα την διάρκεια της διαδικασίας στις επιφάνειες που δεχόντουσαν ακτινοβοληση επίσης βοήθησε θεαματικά-ειδικά οταν τα μήκη κύματος των Laser ήταν στο ερυθρό-υπέρυθρο-βαθύ υπερυθρο που είχαμε διαπιστώσει απο την αρχή κιολας προβλήματα λόγω θερμικης διάχυσης.

Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην βελτίωση των αποτελεσμάτων έπαιξε και η χρονοβόρα αλλά απαραίτητη βελτίωση στο προφίλ των δεσμών (spots) ειδικά των πειραματικών laser του εργαστηρίου του ΕΜΠ όπως επίσης και η σωστή τοποθέτηση φακών εστίασης στους οπτικούς πάγκους εργασίας.

ΠΡΩΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε Ελληνικό νόμισμα του 1882 με έντονη οξείδωση εφαρμόσαμε τεχνικές Laser σε διαφορετικά μήκη κύματος και διάφορες συνθήκες συχνότητας ενέργειας και υγρασίας της επιφάνειας.








Φώτο:Οβολός 1882,Ελλάδα.ακτινοβοληση σε διάφορα σημεία της επιφάνειας.

Με την χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου(MOTIC) αρχίσαμε να καταγράφουμε τα σημαντικότερα οπτικά αποτελέσματα.



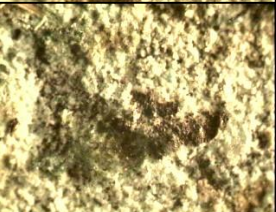
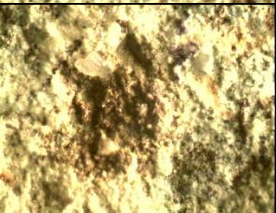


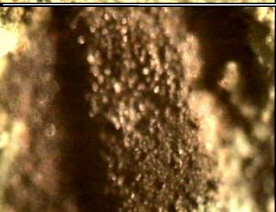
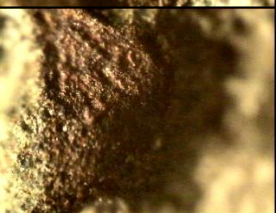
Ο πίνακας που ακολουθεί είναι με εφαρμογή στην επιφάνεια του νομίσματος ακτινοβολίας προερχόμενης από Er:YAG 2.94 μm.

Με χρήση του μικροσκοπίου είδαμε ότι με 2 εξασθενητές έχουμε καλύτερα οπτικά αποτελέσματα και με πυκνότητα ενέργειας 0.44 J/cm².

Αποφασίστηκε επιτόπου η εφαρμογή σε μεγαλύτερη επιφάνεια του νομίσματος (την ονομάσαμε περιοχή Ω)στην οποία παρατηρήθηκαν καλά αποτελέσματα παρόλο που η μετακίνηση του νομίσματος έγινε με βερνίερο χειροκίνητα και είχαμε επικάλυψη παλμών.

N#spot	number of shots	fluence(J/cm ²)	Rep.Value(Hz)	Icons	condition of surface
1(χωρίς εξασθενητή)	10	1,27	1		wet
2(1 εξασθενητή)	13	0,72	1		wet
3(2 εξασθενητές)	19	0,44	1		wet
4(3 εξασθενητές)	29	0,26	1		wet
6(2 εξασθενητές)	20	0,44	1		wet(Ω area)

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας με τα πειράματα που έγιναν χρησιμοποιώντας Laser TEA-CO2 10.64 μm σε διάφορες συνθήκες.

N# spot	Number of shots	Fluence (J/cm ²)	Rep.Rate (Hz)	icon	wet/dry	comments
1	10	0.40	1		dry	
2	10	0.51	1		dry	
3	10	0.40	1		dry	
4	10	0.22	1		dry	
5	10	0.40	1		wet	
6	10	0.51	1		wet	
7	10	0.40	1		wet	zoom 10X10
8	10	0.51	1		wet	zoom 10X10

Τα καλύτερα οπτικά αποτελέσματα τα είχαμε σε πυκνότητες ενέργειας μεταξύ 0.40 joule/cm^2 και 0.51 joule/cm^2 σε επιφάνεια που είχε πριν δεχθεί ένα λεπτό στρώμα απιονισμένου νερού. Η συχνότητα παλμών ήταν 1 Hz και τα σημεία εφαρμογής δέχθηκαν 10 παλμούς.






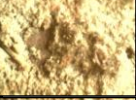




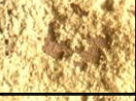

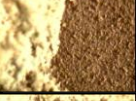
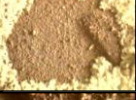


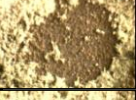

Παρατηρήθηκε ότι στις ίδιες συνθήκες αλλά χωρίς εφαρμογή απιονισμένου νερού έχουμε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Κατά κύριο λόγο έχουμε φαινόμενα blackening όπως χαρακτηρίστηκαν αργότερα από συντηρητές του Νομισματικού Μουσείου.

Παρ' όλα αυτά ακόμα και στο βέλτιστο οπτικό αποτέλεσμα υπήρχαν υποψίες αποδόμησης στην επιφάνεια του νομίσματος οι οποίες επιβεβαιώθηκαν έπειτα από φωτογραφίες που τραβήχτηκαν με Zoom 10x10 από το μικροσκόπιο με χρήση της κάμερας Motic.

Πειράματα έγιναν επίσης με Nd-YAG 266 nm, με Nd-YAG 1064 nm και με Ruby 694 nm. Τα οπτικά αποτελέσματα δεν παρατίθενται είτε γιατί δεν είχαμε κάποιο σοβαρό αποτέλεσμα είτε γιατί η καταστροφή της πατίνας η αποδόμηση και η καταστροφή της επιφάνειας ήταν σε μεγάλο βαθμό εξαιτίας του υπερκαθαρισμού. Έτσι για τα συγκεκριμένα Laser αποφασίστηκε η περαιτέρω ανάλυση σε άλλα υποθέματα.

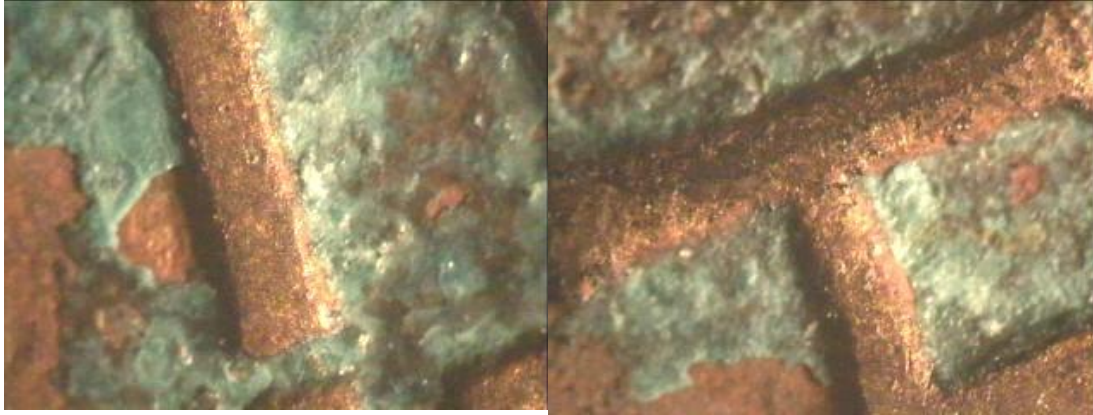
Τέλος έγιναν πειράματα με Nd-YAG 532 nm στα οποία τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά σε συγκεκριμένες συνθήκες πειραματική διαδικασία μας έδειξε ότι σε ελεγχόμενες συνθήκες έχουμε αρκετά καλά οπτικά παρατηρούμενα αποτελέσματα καθαρισμού σε επιφάνειες με έντονες οξειδώσεις του χαλκού. Η απομάκρυνση των επικαθήσεων στην επιφάνεια γίνεται με λίγες εφαρμογές ενώ με προσοχή αποφεύγεται η καταστροφή της πατίνας, πράγμα όπως πληροφορηθήκαμε από τους συντηρητές αρχαιοτήτων και έργων τέχνης του Νομισματικού Μουσείου είναι αρκετά ελπιδοφόρο για εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες. Η καλύτερη παρατήρηση έγινε με 5 παλμούς ανα spot και πυκνότητα ενέργειας 0.43 joule/cm^2 με συχνότητα 1 Hz ενώ η επιφάνεια είχε λεπτή στρώση απιονισμένου νερού η οποία τοποθετήθηκε με χρήση πινελου. Με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες έγινε προσεκτική σάρωση με επικάλυψη παλμών σε μια περιοχή του νομίσματος με εξαιρετικά αποτελέσματα. Με τις ίδιες συνθήκες αλλά με 2 παλμούς ανα spot είχαμε καθαρισμό της επιφάνειας αλλά όχι σε ικανοποιητικό βαθμό. Επίσης παρατηρήθηκε σε μεγαλύτερες πυκνότητες ενέργειας και με περισσότερες επαναλήψεις πιθανή αποδόμηση της επιφάνειας οπότε εγκαταλήφθηκε η προσπάθεια. Τέλος σε συνθήκες στις οποίες δεν υπήρχε εφαρμογή απιονισμένου νερού είχαμε σε όλες τις εφαρμογές (εκτός από δύο περιπτώσεις που θεωρήθηκαν συμπτωματικές) ανεξαρτήτου πυκνότητας φαινόμενα Blackening τα οποία λειτούργησαν απαγορευτικά.

Παρακάτω παρατείθετε ένας συνοπτικός πίνακας από αποτελέσματα.

N# spot	Number of shots	Fluence (J/cm ²)	Rep.Rate (Hz)	icon	wet/dry	comments
1	3	0.64	1		dry	
2	3	0.52	1		dry	
3	3	0.41	1		dry	
4	3	0.37	1		dry	
5	3	0.32	1		dry	
6	5	0.64	1		dry	
7	13	0.64	1		dry	
						
8	17	0.64	1		dry	
						
9	8	0.52	1		dry	
10	5	0.52	1		wet	
						
11	8	0.52	1		wet	
						
12	8	0.52	1		wet	
13	2	0.43	1		wet	
14	5	0.43	1		wet	

Η εύρεση ικανοποιητικών συνθηκών για το Nd-YAG 532 nm μας οδήγησε στο να εφαρμόσουμε αυτές για καθαρισμό ενός κυπριακού νομίσματος του 1960 το οποίο είχε έντονες επικαθίσεις από οξειδώσεις στην επιφάνεια του.

Οι παρακάτω φωτογραφίες είναι από περιοχές με έντονες επικαθίσεις οξείδωσης:



Ενώ οι επόμενες φωτογραφίες μας δείχνουν περιοχές που καθαρίστηκαν με επικάλυψη παλμών και είχαμε ευνοϊκά αποτελέσματα:



Πρόβλημα στο συγκεκριμένο νόμισμα είχαμε λόγω των έντονων γωνιών στην δομή της επιφάνειας του νομίσματος. Προσπαθώντας να καθαρίσουμε πλήρως τις επιφάνειες οι οποίες δέχτηκαν ακτινοβολία παρατηρήσαμε καταστροφή της πατίνας σε ορισμένα σημεία.

Δεύτερος κύκλος πειραμάτων-Εφαρμογή σε αρχαία νομίσματα

Ο δεύτερος κύκλος πειραμάτων έγινε στα πλαίσια της Ελληνο-Ιταλικής Συνεργασίας, επιδοτούμενης από την Γ.Γ.Ε.Τ με κονδύλια της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι εφαρμογές σχεδιάστηκαν να γίνουν σε Αρχαία ευρήματα αξιοποιώντας την γνώση, που προήλθε από τον πρώτο κύκλο πειραμάτων και τις αναλυτικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν στα ακτινοβολημένα νεότερα νομίσματα. Φυσικά πριν επιλεγούν τα κατάλληλα νομίσματα υπήρξε συνεννόηση με τους συντηρητές έργων τέχνης και αρχαιοτήτων του Νομισματικού Μουσείου Αθηνών, έτσι ώστε να γίνει μια συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια, αποφασίστηκε να γίνει ένας τριήμερος κύκλος πειραμάτων στα Εργαστήρια Laser του ΕΜΠ παρουσία των εξειδικευμένων συντηρητών. Επίσης για λόγους ασφαλείας τα νομίσματα ερχόντουσαν καθημερινά από το Νομισματικό Μουσείο με συνοδεία Αρχαιοφύλακα ενώ μετά το πέρας των πειραμάτων τα επέστρεφαν καθημερινά στο χώρο φύλαξης τους στο Μουσείο.

Αρχαία νομίσματα που χρησιμοποιήθηκαν

Τα αρχαία νομίσματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την φάση των πειραμάτων ήταν τα εξής:

Α. Ρωμαϊκό Νόμισμα



Β. Αυστριακό Νόμισμα



Γ. Θησαυρός Ασκληπειίου



Δ. Αντίγονου Γονατά



Ε. Βυζαντινό Φολίς



Α νόμισμα.

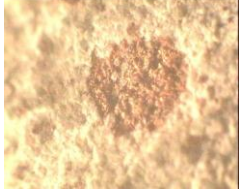
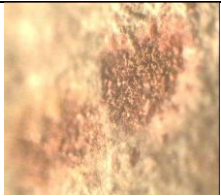

Αλληλεπίδραση με Er:YAG 2.94 μm

Χρονική διάρκεια παλμού 100ns

Ενέργεια εξόδου 16, 04 mJ

Εμβαδό παλμού 0,785 mm^2


Πυκνότητα ενέργειας : 2,043 J/cm^2

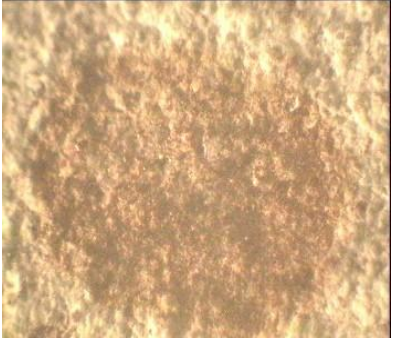
1		Dry , 10 shots, 2,043 J/cm^2
2		Wet, 10 shots, more effective
3		Dry, 5 shots, more soft

Αλληλεπίδραση με TEA:CO₂ 10.6 μm

Χρονική διάρκεια παλμού 80ns

Πυκνότητα ενέργειας : **6.3 J/cm^2**

1		2 shots
----------	---	----------------


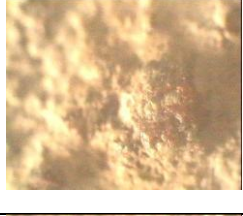

2		1 shots
---	---	---------

Αλληλεπίδραση με Nd:YAG 266 nm

Ενέργεια εξόδου 22.6 mJ

Εμβαδό παλμού 0,006 cm²

Χρήση Εξασθενητή ακτινοβολίας (μείωση 10%)

5		950V+attenuator, 5 shots, 3,39 J/cm² Not effective, still corroded
6		Bibiki, 950V+attenuator, 4 shots, 3,39 J/cm² Effective at area, but blackening at the surrounding area
7		950, not attenuator, 30 shots, 3, 77 J/cm² Blackening of the corrosion, even from the beginning

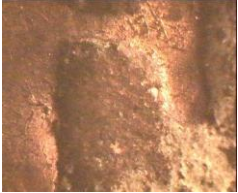

Β Νόμισμα

Αλληλεπίδραση με Nd:YAG 266 nm

Ενέργεια εξόδου 22.6 mJ

Εμβαδό παλμού 0,006 cm²


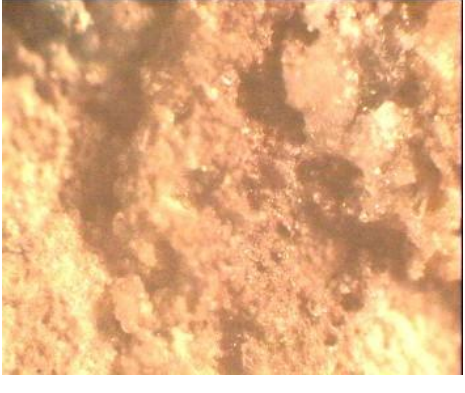
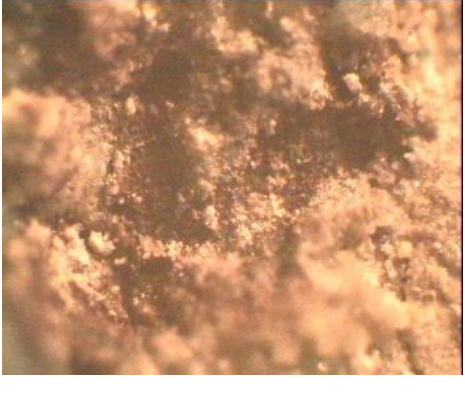
Χρήση Εξασθενητή ακτινοβολίας (μείωση 10%)

1		22,6 mJ 0.0095 cm² no attenuator 2, 38J/cm² 3 shots
2		20, 34 mJ 0.0095 cm² With attenuator 4 shots 2, 14 J/cm²

Γ νόμισμα.

Αλληλεπίδραση με TEA:CO₂ 10.6 μm

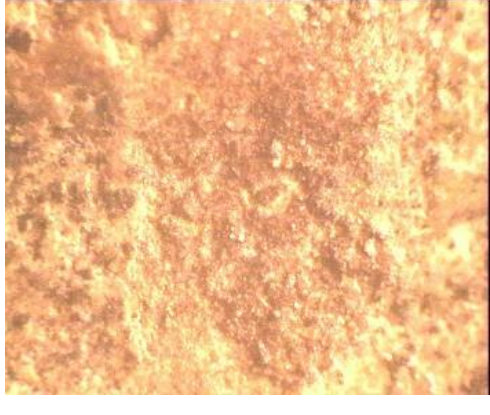


Χρονική διάρκεια παλμού 80ns

1		3 shots, Fluence: 3,86J/cm ²
2		10 shots, Fluence: 8,89J/cm ²
3		20 shots, 18 shots Fluence: 8,89J/cm ²

Δ νόμισμα.

Αλληλεπίδραση με TEA:CO₂ 10.6 μm






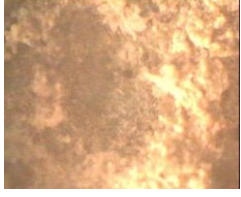
Χρονική διάρκεια παλμού 80n

1		2 shots Fluence: 4,45J/cm ²
2		6 shots Fluence: 4,45J/cm ²
3		10 shots Fluence: 4,45J/cm ²

Γ νόμισμα.

Αλληλεπίδραση με Nd:YAG 532 nm

Πυκνότητα ενέργειας 1.2 J/cm²

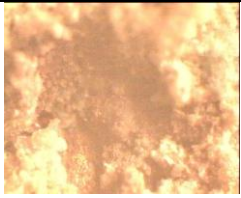


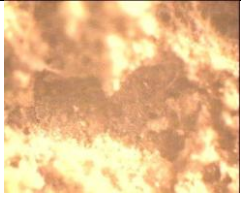
1		30shots,wet Fluence: 1,2J/cm ² Κυπρίτης εμφανίστηκε
2		21shots,wet Fluence: 1,2J/cm ² Κυπρίτης εμφανίστηκε
3		15shots,wet Fluence: 1,2J/cm ² πυρήνας
4		16 shots, wet Fluence: 1,2J/cm ²
5		14 shots, wet Fluence: 1,2J/cm ²
6		15 Shots, wet Fluence: 0,91J/cm ²

Θησαυρός Ασκληπιείου

Nd:YAG 1064nm

Spot size: 0,007cm²

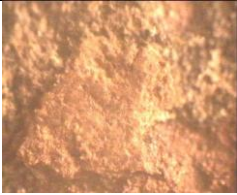
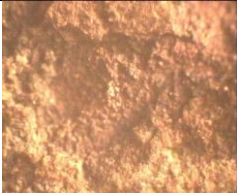


Fluence 13,5J/cm²

1		25 shots Fluence: 13,5J/cm ²
2		Shots 10,9 Fluence: 13,5J/cm ²
3		Shots 7 Fluence: 13,5 J/cm ²
4		Shots 3,4 Fluence: 13,5J/cm ² Καλό αποτέλεσμα

Αντίγονου Γονατά

Nd:YAG 1064nm

Fluence 13,5J/cm²




1		5 shots Fluence: 13,5J/cm ²
2		5 shots Fluence: 13,5J/cm ²
3		3 shots Fluence: 13,5J/cm ²
4		3 shots Fluence: J/cm ²

Ruby 694nm QS

20ns

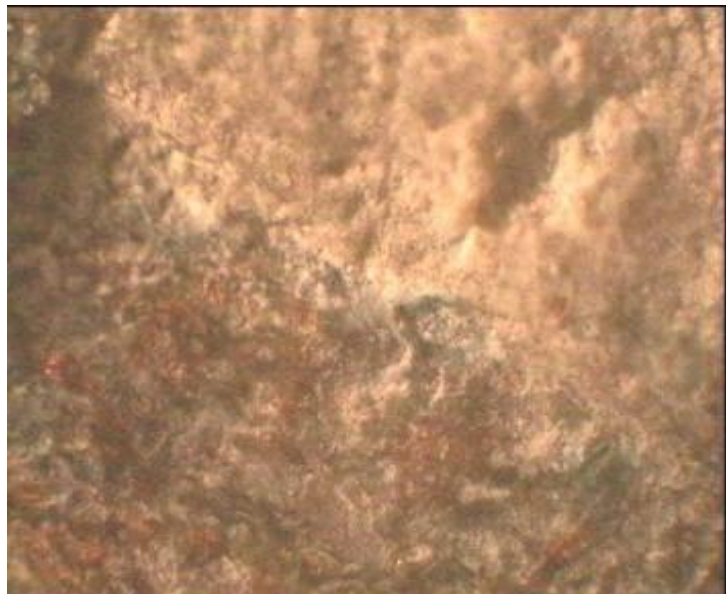
2.5J/cm²

70mJ

1		<p>1 shot, πολύ καλό αποτέλεσμα, έφτασε στον κυπρίτη αλλά δεν τον πείραξε.</p>
2		
3		

Μηχανικός καθαρισμός του νομίσματος «Θησαυρός του Ασκληπιείου», από την συντηρήτρια Έλενα Κοντού, Διπλά φαίνεται η οξείδωση. Ήθελε να κρατήσει την πράσινη πατίνα.

Εικόνα 50



Οξείδωση δίπλα από την εικόνα 50.



Νόμισμα: Βυζαντινό Follis

Η πλευρά αυτή χτυπήθηκε με



1. Nd:YAG 266nm
spots(1,2,3,4)

2. Nd:YAG1064nm
spots(5,6,7,8,9,10,11,12)

3. CO₂
Spots13,13β

4. Nd:YAG532nm



Η πλευρά αυτή χτυπήθηκε με:

5. Nd:YAG 266nm
spots(1,2,3,4)

6. Nd:YAG1064nm
spots(5,6,7,8,9,10,11,12)

7. CO₂
Spots13,13β

8. Nd:YAG532nm

Πειραματική μελέτη καθαρισμού βιομηχανικών μεταλλικών δειγμάτων και παλαιών μεταλλικών έργων τέχνης με διάφορες πηγές laser.

Πρωταρχικές μελέτες έγιναν σε ναυπηγικά μέταλλα, τα οποία έχουν ακτινοβοληθεί με διάφορες πηγές παραγωγής ακτινοβολίας laser, από UV έως FarIR. Τα συγκεκριμένα δείγματα διαβρώθηκαν από την συνεργαζόμενη, στο ερευνητικό πρόγραμμα, ομάδα του Δρ. Δημητρίου Παντελή στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών στην Σχολή Ναυπηγών, με μεθόδους τεχνητής διάβρωσης όπως αλατονέφωση.

Ναυπηγικά μέταλλα

Κατά την μελέτη αλληλεπίδρασης laser με βιομηχανικά υλικά κάναμε χρήση ναυπηγικά δείγματα, όπου η διάβρωση και άλλες αλλοιώσεις που μπορούν να υποστούν κατά την πάροδο του χρόνου μπορούν να επηρεάσουν την λειτουργικότητα τους.

Σε συνεργασία με την ομάδα του Δρ. Δημητρίου Παντελή, του στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών στην Σχολή Ναυπηγών, είχαμε καταγεγραμμένα και πιστοποιημένα ναυπηγικά δείγματα με τεχνητή διάβρωση.

Έτσι έχουμε τα παρακάτω δείγματα:

A. Ναυπηγικός χάλυβας (AH36), ο οποίος έχει υποστεί αλατονέφωση για 12 ημέρες



Φωτογραφία 1.

A) Πηγή laser Nd:YAG με μήκος κύματος 1064 nm, ενέργεια εξόδου στα 14 mJ, διάρκεια παλμού στα 6 ns και από αριστερά προς δεξιά 1, 2, 3, 5, 10, 20 παλμούς αντίστοιχα.

B) Πηγή ακτινοβολίας Nd:YAG με μήκος κύματος 266 nm, ενέργεια εξόδου στα 19,6 mJ, διάρκεια παλμού στα 6 ns και από αριστερά προς τα δεξιά 190, 120, 100, 60 παλμούς αντίστοιχα με επαναληπτικότητα στα 3 Hz.

C) Πηγή ακτινοβολίας Nd: YAG με μήκος κύματος 532 nm, ροή ενέργειας 0,76 J/cm², διάρκεια παλμού στα 6 ns, 5 βολές.

D) Πηγή ακτινοβολίας Nd:YAG με μήκος κύματος 532 nm, ροή ενέργειας 1,2 J/cm², διάρκεια παλμού στα 6 ns, 3 βολές.

Επακόλουθα κάθε ακτινοβολήσης εφαρμόσθηκε οπτική μικροσκοπία για την παρακολούθηση κάθε δοκιμής και έλεγχο της ποιότητας της επιφάνειας.



Φωτογραφία 2 και 3.

Φωτογραφίες από το οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος των κρατήρων αποδόμησης που προέκυψαν από την εφαρμογή ακτινοβολίας laser Nd:YAG στα 532 nm με ροές ενέργειας $0,76 \text{ J/cm}^2$ (a) και $1,2 \text{ J/cm}^2$ (b) αντίστοιχα .

B. Ναυπηγικός χάλυβας (IB3_b), ο οποίος έχει υποστεί αλατονέφωση για 12 ημέρες



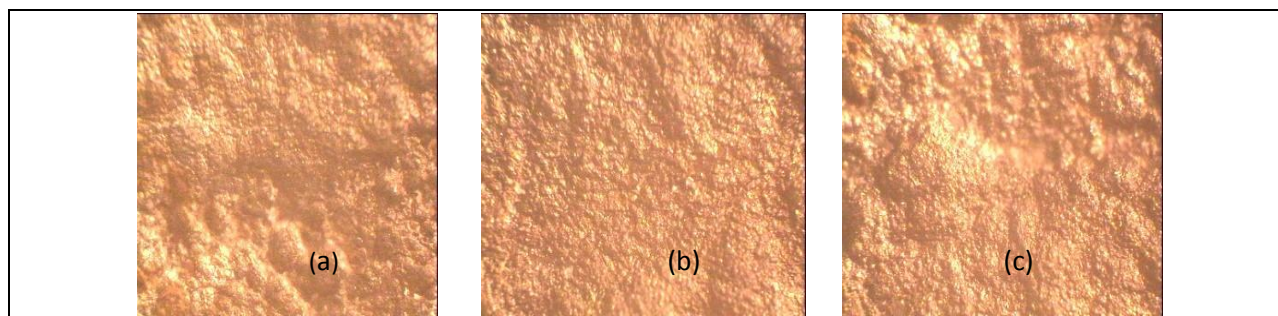
C) Πηγή ακτινοβολίας CO₂, με μήκος κύματος ακτινοβολίας στα 10,64 μm, ροή ενέργειας στα $6,2 \text{ J/cm}^2$, διάρκεια παλμού στα 80 ms, 6 βολές.

D) Πηγή ακτινοβολίας Nd:YAG, με μήκος κύματος στα 1064 nm, για διάφορες τιμές της ενέργειας, διάρκεια παλμού στα 6 ns, επαναληπτικότητα στα 3 Hz.

E,F,G) Πηγή ακτινοβολίας Nd:YAG, με μήκος κύματος στα 266 nm, ενέργεια εξόδου στα 19,6 mJ, επαναληπτικότητα στα 3 Hz.

Φωτογραφία 4.

Επακόλουθα κάθε ακτινοβολήσης εφαρμόσθηκε οπτική μικροσκοπία για την παρακολούθηση κάθε δοκιμής και έλεγχο της ποιότητας της επιφάνειας. Φωτογραφίες από το οπτικό μικροσκόπιο από τους κρατήρες αποδόμησης που προέκυψαν στο δείγμα ναυπηγικού χάλυβα με την χρήση laser CO₂ (10,64 μm) και παρατηρείται ότι η επιφάνεια του μετάλλου είναι αρκετά ομαλή και καθαρή μετά την εφαρμογή της ακτινοβολίας laser.



Γενικά Συμπεράσματα των πρώτων κύκλων εργασιών

Η πολύτιμη εμπειρία της ενασχόλησης μας τόσο με νεότερα νομίσματα όσο και με αρχαία ευρύματα αλλά και με βιομηχανικά μέταλλα μας ώθησαν στο να βγάλουμε τα εξής συμπεράσματα:

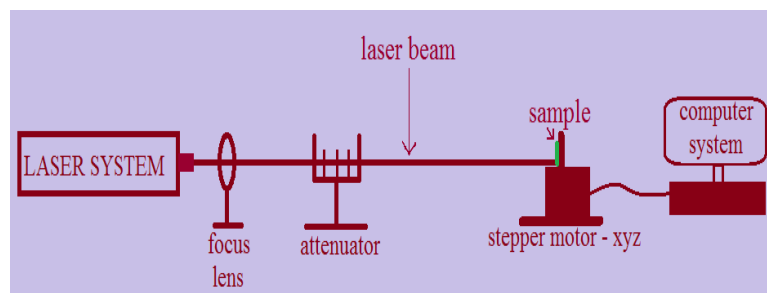
1. Χρειάζεται βέλτιστος τρόπος ελέγχου της δέσμης laser
2. Ανάλογα με το είδος του μετάλλου θα πρέπει να χρησιμοποιούμε ανάλογο μήκος κύματος και ανάλογη πυκνότητα ενέργειας.
3. Χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε διαγνωστικές μεθόδους σύγχρονες γιατί η παρατήρηση με κλασσικές μεθόδους όπως το οπτικό μικροσκόπιο μπορεί να μην επαρκούν για την σωστή διάγνωση τόσο πριν όσο και μετά τον καθαρισμό των μεταλλικών τεχνουργημάτων.
4. Τα αποτελέσματα είναι θετικά και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις θεαματικά όπως χαρακτηρίστηκαν από έμπειρους συντηρητές του Νομισματικού Μουσείου.
5. Σχεδιασμός άλλων δύο κύκλων πειραμάτων αρχικά ξανα με νεότερα νομίσματα και έπειτα ξανά με αρχαία λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω συμπεράσματα.

Κατασκευή διατάξεων στο Ε.Μ.Π

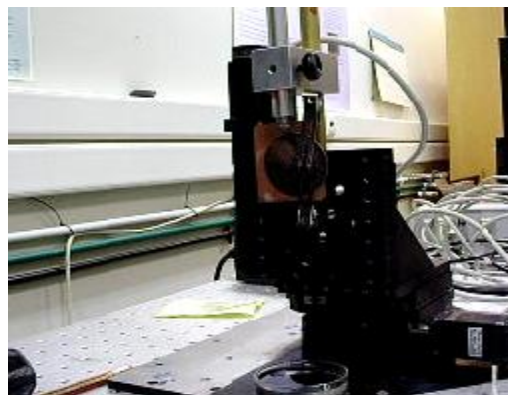
Κατασκευάστηκε μια διάταξη η οποία μετέφερε την δέσμη από στατικά laser και κατευθυνόταν μέσα από φακούς εστίασης σε εξασθενητές(attenuators) έτσι ώστε να ελέγχουμε την πυκνότητα ενέργειας και το μέγεθος του spot. Τελικά η δέσμη έπεφτε πάνω στο δείγμα μας το οποίο βρισκόταν πάνω σε ένα ηλεκτρονικό βερνιέρο με δυνατότητα μικρομετακινήσεων σε 3 άξονες.

Ο ηλεκτρονικός βερνιέρος χειριζόταν από ηλεκτρονικό υπολογιστή με συγκεκριμένο λογισμικό.

Τους 3 άξονες που τους συνθέσαμε στα εργαστήρια του Ε.Μ.Π τους προμηθευτήκαμε από την Λιθουανική εταιρεία Standa.



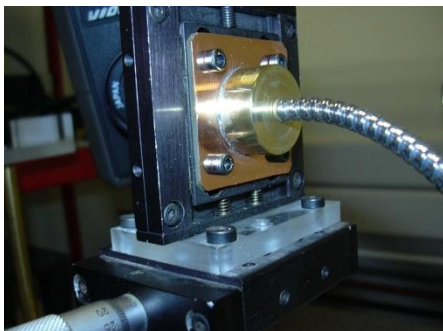
1. Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης.



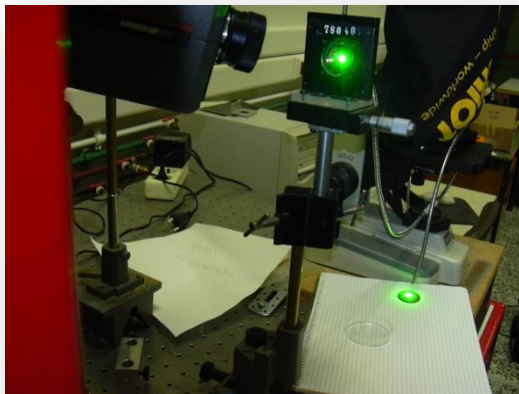
2. Ηλεκτρονικός βερνιέρος

Ο ηλεκτρονικός βερνιέρος μας προσέφερε την δυνατότητα των μικροεπεμβάσεων ελεγχόμενα στα νομίσματα αφού είχε βήμα μόλις 1.25 μm και η τροχιά του σχεδιαζόταν από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η δεύτερη διάταξη κατασκευάστηκε με μεταφορά της δέσμης μέσω οπτικής ίνας.



3,4.οδηγός με οπτική ίνα



Η διάταξη αυτή μας προσέφερε την δυνατότητα ελέγχου με το χέρι που θα οδηγήσουμε την δέσμη.

Τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν ήταν με το καλιμπράρισμα της συγκεκριμένης διάταξης όπως και με τον χειρισμό της .

Η λύση δόθηκε με την ευγενική χορηγία της ιταλικής εταιρείας EL.EN η οποία μας δάνεισε 2 διατάξεις έτοιμες για χρήση εξειδικευμένες στην συντήρηση αρχαιοτήτων και έργων τέχνης.



5.6.laser της εταιρείας EL.EN. LQS και Free Nd:YAG laser, 1064 nm, (100 ns και 100 μs)

Τα δύο αυτά laser ένα LQS Nd:YAG 1064nm και ένα Free Nd:YAG 1064nm είχαν την δυνατότητα ρύθμισης σε διάφορες πυκνότητας ενέργειας διαφορετικές χρονικές διάρκειας παλμού και κατευθυνόμενη δέσμη μέσα από κεφαλή η οποία χειριζόταν με το χέρι.

Η κεφαλή των laser είχε ενσωματωμένο τροchioδεικτικό χαμηλής ισχύος laser He-Ne το οποίο μας έδειχνε που θα οδηγηθεί ο παλμός 1064 nm όταν θα ενεργοποιούσαμε την συσκευή. Τελικά η ενεργοποίηση γινόταν από σκανδάλη στο πόδι του χειριστή. Η διάταξη ήταν εύκολη στην χρήση και αποφασίστηκε να εκπαιδεύσουμε το προσωπικό του εργαστηρίου συντήρησης του νομισματικού μουσείου στην χρήση του. Έτσι μεταφέραμε τα 2 αυτά laser στο Νομισματικό Μουσείο Αθηνών. Οι συντηρητές γρήγορα έμαθαν να χειρίζονται τις διατάξεις και έτσι με την σύμφωνη γνώμη τους χρησιμοποιήθηκαν στους επόμενους δύο κύκλους πειραμάτων.



7,8. Εκπαίδευση στην πράξη στα εργαστήρια του Νομισματικού Μουσείου Αθηνών.

Τρίτος κύκλος πειραμάτων.

Η γνώση των προηγούμενων κύκλων πειραμάτων όπως και η μοντελοποίηση της αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με τις μεταλλικές επιφάνειες και οι πειραματικές εφαρμογές σε βιομηχανικά μέταλλα και τεχνουργήματα μας οδήγησαν σε πιο καλά συμπεράσματα για τις συνθήκες που θα πρέπει να επιλέγονται κατά την διάρκεια της συντήρησης και του καθαρισμού αρχαίων μεταλλικών νομισμάτων και τεχνουργημάτων.

Αποφασίστηκε σε αυτό τον κύκλο των πειραμάτων να επαναληφθεί καθαρισμός νεότερων νομισμάτων ελεύθερης διάθεσης με στόχο να εφαρμοστούν οι προτινόμενες συνθήκες αλλά και καινούργιες διαγνωστικές μέθοδοι πέρα από τις παραδοσιακές.

ΕΜΠ ΝΟΜΙΣΜΑ 14

Υλικό κατασκευής: Χαλκονικέλιο.

Περιγραφή/Χρονολογία κοπής: 10 Δρχ του 1968, επί Κωνσταντίνου.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι λεία, στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται προϊόντα του χαλκού.

Διάβρωση-επικαθίσεις: Στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας εντοπίζεται υποπράσινο προϊόν υπό την μορφή βελονισμών. Σε μία επίσης μεγάλη περιοχή παρατηρούνται επικαθίσεις χρώματος. Σε ορισμένα σημεία παρατηρείται σκούρο πράσινο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του χαλκού κάτω από το οποίο εντοπίζεται υποπράσινο προϊόν.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των επικαθίσεων και η αποκάλυψη του κράματος. Χρώμα λευκού/ κιτρινωπού μετάλλου.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1, δεξιά και πάνω 1cm ²	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 900 V) 7,73 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,466 mm ² , dry, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (1,66 J/cm ²).	Αποδεκτό	Τα πράσινα προϊόντα έχουν απομακρυνθεί κατά τόπους. Στις περιοχές αυτές η επιφάνεια μάλλον επηρεάζεται, είναι γυαλιστερή - οριακά θερμικό αποτέλεσμα.
2, αριστερά αριστερά και κάτω	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 900 V) 7,73 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,466 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (1,66 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έχει μειωθεί το πάχος του στρώματος των προϊόντων διάβρωσης του χαλκού. Η επιφάνεια που αποκαλύπτεται παρουσιάζει κοιλότητες με προϊόν πράσινου χρώματος. Στην περιοχή όπου έγινε δεύτερη φορά η επιφάνεια φαίνεται πιο γυαλιστερή.
3α, κάτω δεξιά	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 800 V) 91,45 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,42 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,22 J/cm ²), 80 επαναλήψεις.	Καμία επίδραση	
3β, στο ίδιο σημείο, 1 spot	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 900 V) 154,9 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,42 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,37 J/cm ²), 60 επαναλήψεις.	Αποδεκτό	Τα πράσινα προϊόντα απομακρύνονται ελάχιστα κατά τόπους.

3γ, στο ίδιο σημείο, 1 spot	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 1000 V) 210,9 mJ, Repetition rate: 1 Hz, Spot size: 0,42 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,5 J/cm ²), 100 επαναλήψεις.	Αποδεκτό	Τα πράσινα προϊόντα έχουν απομακρυνθεί. Η επιφάνεια είναι λεία στις περιοχές που δεν έχουν απομακρυνθεί ιόντα χαλκού.
4, πάνω αριστερά, λωρίδα κάθετα από το γράμμα A, 1 spot	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 822 V) 24,3 mJ, Repetition rate: 1Hz, Spot size: 0,0483 cm ² , 0,268 cm διάμετρος, wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,58 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 1 shot.	Αποδεκτό	Έλεγχος σε ένα shot: Τα πράσινα προϊόντα απομακρύνθηκαν σε δύο σημεία της επιφάνειας του spot.
6α, πάνω αριστερά, λωρίδα μάτι-μύτη	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 876 V) 10,56 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x: 15,26 st/s Speed y: 0 st/s, Spot size: 0,105 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 58 cm (0,1 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έλεγχος σε 1 σάρωση: Μερική απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων. Η επιφάνεια που αποκαλύπτεται φαίνεται γυαλιστερή με κοιλότητες.
6β, πάνω αριστερά, λωρίδα μάτι-μύτη	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 906 V) 15,64 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x: 15,26 st/s Speed y: 0 st/s, Spot size: 0,105 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 58 cm (0,15 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έλεγχος σε 1 σάρωση: Μερική απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων. Η επιφάνεια που αποκαλύπτεται φαίνεται γυαλιστερή με κοιλότητες. Έλεγχος σε 2 σαρώσεις (συν 4 σαρώσεις): Απομάκρυνση αρκετών πράσινων προϊόντων. Κατά τόπους τα προϊόντα σκούριναν επιφανειακά. Η επιφάνεια

			που αποκαλύπτεται φαίνεται γυαλιστερή με κοιλότητες, κάπως κιτρινωπή στα ανώτερα σημεία των αναγλύφων.
6c, πάνω αριστερά, λωρίδα μάτι-μύτη	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 927 V) 21,18 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:0 st/s, Spot size: 0,105 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 58 cm (0,2 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έλεγχος σε 2 σαρώσεις (συν 6 σαρώσεις): Απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων σε μεγάλο βαθμό. Σε ορισμένα σημεία παρατηρείται επιφανειακό μαύρισμα των πράσινων προϊόντων – κήκαν. Η επιφάνεια που αποκαλύπτεται φαίνεται σχετικά ανομοιόμορφη στο χρώμα λευκό μέταλλο και κιτρινωπό κατά τόπους, γυαλιστερή με κοιλότητες.

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια στο μεγαλύτερο μέρος της είναι λεία.

Διάβρωση-επικαθίσεις: Παρατηρούνται κηλίδες μαύρου χρώματος στις περιοχές οι οποίες δεν καλύπτονται από πράσινα προϊόντα διάβρωσης του χαλκού.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
5, κάτω αριστερά, λωρίδα στην γραμμή εδάφους	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 790 V) 13,6 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:0 st/s, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,282 J/cm ²), καθαρισμός	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν οι επικαθίσεις ή τα προϊόντα και η επιφάνεια παραμένει γυαλιστερή όπως είναι λογικό από τη στιγμή που δεν υπάρχουν προϊόντα διάβρωσης του χαλκού.

	<p>με σταθμό μικρομηχανικής, 3 σαρώσεις.</p> <p>*66 φορές επίδραση στο ίδιο σημείο βάση ταχύτητας και μεγέθους spot.</p>		
--	--	--	--

ΕΜΠΙ ΝΟΜΙΣΜΑ 16

Υλικό κατασκευής: Λευκό μέταλλο.

Περιγραφή/Χρονολογία κοπής: 50 CENT, 1858 του Βάρρε, επί Ναπολέοντα III. Φέρει οπή ανάρτησης.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι λεία.

Διάβρωση-επικαθίσεις: Η επιφάνεια καλύπτεται από λεπτό στρώμα μαύρων - καφέ προϊόντων διάβρωσης. Κατά τόπους εντοπίζονται κηλίδες έντονου χρώματος πράσινου - καφέ – μαύρου, ενώ στις εσοχές παρατηρούνται λιπαρές επικαθίσεις, επικαθίσεις χρώματος και προϊόντα διάβρωσης.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των επικαθίσεων και η αποκάλυψη του λευκού μετάλλου.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1, πάνω δεξιά 2-3 shots	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 900 V) 7,73 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,466 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (1,66 J/cm ²).	Αποδεκτό	Έχουν απομακρυνθεί οι επικαθίσεις και η πατίνα. Φτάσαμε στη μεταλλική επιφάνεια. Η επιφάνεια γύρω από το καθαρισμένο σημείο έχει μαυρίσει.
2, πάνω δεξιά περιοχή 0,5 cm ²	NdYAG, 266nm, Τάση τροφοδοτικού για το laser: 700 V Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm.	Καμία επίδραση	Καμία επίδραση, εξαιτίας της χαμηλής ενέργειας.
3, πάνω δεξιά, κάτω από τον καθαρισμό 2, περιοχή 0,5 cm ²	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 850 V) 5,22 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,555 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (0,94 J/cm ²)	Αποδεκτό	Έχουν απομακρυνθεί οι επικαθίσεις και η πατίνα. Φτάσαμε στη μεταλλική επιφάνεια. Η επιφάνεια γύρω από τα shots παραμένει σκουρόχρωμη-καφέ, οπότε φαίνεται η κατεύθυνση των shots. Η επιφάνεια μπορεί να φαίνεται «λευκή», αλλά διατηρεί όλες τις λεπτομέρειες και τις μηχανικές καταπονήσεις.
4, πάνω αριστερά, περιοχή 0,5 cm ²	NdYAG, 266nm, με εξασθενητή (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 850 V) 4,89 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz,	Αποδεκτό;	Έχουν απομακρυνθεί οι επικαθίσεις και η πατίνα. Φτάσαμε στη μεταλλική επιφάνεια.

	Spot size: 0,555 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45 cm (0,88 J/cm ²)		
6, κάτω δεξιά, περιοχή 0,3 cm x 0,4 cm	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 800 V) 101,09 mJ, Speed x:1600 st/s (2mm/sec) Speed y:160 st/s (0,2 mm/sec) Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,266 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 20 cm (0,38 J/cm ²), 1 σάρωση	Αποδεκτό	Έχουν απομακρυνθεί οι επικαθίσεις και η πατίνα. Φτάσαμε στη μεταλλική επιφάνεια. Η κατεύθυνση των shots δεν είναι τόσο εμφανής, όσο στην προηγούμενη εφαρμογή με NdYAG, 266nm, εξαιτίας του spot size. Η επιφάνεια μπορεί να φαίνεται «λευκή», αλλά διατηρεί όλες τις λεπτομέρειες και τις μηχανικές καταπονήσεις από τη χρήση του νομίσματος.
8a, πάνω αριστερά	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 766 V) 7,4 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:100 st/s, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,1 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 4 σαρώσεις σε όλη την περιοχή 8.	Μη αποδεκτό	Ίσως να έχει απομακρυνθεί ένα λεπτό στρώμα προϊόντων, γιατί τα ανάγλυφα γράμματα δεν διαφοροποιούνται σε σχέση με το πεδίο. Μικροσκοπικά η επιφάνεια διατηρεί όλες τις λεπτομέρειες και τις μηχανικές καταπονήσεις από τη χρήση του νομίσματος, αλλά με γυμνό μάτι φαίνεται κιτρινωπή... σαν να έχει δημιουργηθεί ένα στρώμα οξειδίων κατά τον καθαρισμό
8b, στην ίδια περιοχή	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 781V) 11,24 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:100 st/s, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,23 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.	Μη αποδεκτό	Έλεγχος σε 10 shots, ίσως να έκαναν την επιφάνεια πιο γκρι.

ΕΜΠ ΝΟΜΙΣΜΑ b15

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια κατά τόπους είναι λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια του νομίσματος καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος από λεπτό καφέ και γυαλιστερό στρώμα οξειδίων του χαλκού (πατίνα). Σε περιοχές που εξέχουν φαίνεται ότι έχει αποκαλυφθεί ο μεταλλικός πυρήνας αλλά και εκεί η επιφάνεια καλύπτεται από πολύ λεπτό καφέ στρώμα οξειδίων του χαλκού. Παρατηρούνται κατά τόπους πράσινα προϊόντα - κηλίδες χλωριούχων προϊόντων του χαλκού.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων διάβρωσης στις περιοχές με pitting corrosion χωρίς να επηρεαστεί η πατίνα στις γύρω περιοχές.

α/α	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1, όλη η όψη	NdYAG, 1064 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 1000 V) 206 mJ, Repetition rate: 1 Hz, Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm ² , wet,	«Μη αποδεκτό»	Έχει οριακά προσβάλλει την πατίνα, χωρίς να απομακρυνθούν τα προϊόντα από τις εσοχές. Μικροσκοπικά δε φαίνεται προσβολή στην επιφάνεια, αλλά με γυμνό μάτι, η επιφάνεια δεν φαίνεται

	<p>Speed x:2600 st/s</p> <p>Speed y:3500 st/s</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,68 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής 1 σάρωση, αλλά με επικάλυψη.</p>		<p>ομοιόμορφη και κατά τόπους φαίνεται απογυμνωμένη και ιριδίζει.</p> <p>Θα πρέπει να μειώσουμε την ενέργεια για να μην έχουμε προσβολή της πατίνας.</p>
4α, γράμματα E VI	<p>NdYAG, 532 nm,</p> <p>(Τάση τροφοδοτικού για το laser: 794 V)</p> <p>15 mJ, Repetition rate: 1 Hz,</p> <p>Spot size: 0,3 διάμετρος, cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 3 shots.</p>	Καμία επίδραση	Μικροσκοπικά δε φαίνεται προσβολή στην επιφάνεια, αλλά ούτε και στα προϊόντα.
4β, γράμματα E VI	<p>NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V)</p> <p>22,5 mJ, Repetition rate: 1 Hz,</p> <p>Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 3 shots.</p>	«Αποδεκτό»	Απομακρύνθηκαν τα εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα σε μεγάλο βαθμό. Μικροσκοπικά δε φαίνεται προσβολή στην επιφάνεια, αλλά με γυμνό μάτι, η επιφάνεια φαίνεται γκρι και ιριδίζει.
5α, γράμμα G	<p>NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V)</p> <p>22,5 mJ, Repetition rate: 1 Hz,</p> <p>Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 1 shot.</p>	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν τα εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα σε μεγάλο βαθμό. Μικροσκοπικά δε φαίνεται προσβολή στην επιφάνεια, αλλά με γυμνό μάτι, η επιφάνεια φαίνεται λίγο να ιριδίζει.
5b, γράμμα O	<p>NdYAG, 532 nm,</p> <p>(Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V)</p> <p>22,5 mJ, Repetition rate: 1 Hz,</p> <p>Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 2 shots.</p>	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν τα εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα σε πολύ μεγάλο βαθμό. Μικροσκοπικά δε φαίνεται προσβολή στην επιφάνεια, αλλά με γυμνό μάτι, η επιφάνεια ιριδίζει.
5c, γράμμα RG	<p>NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V)</p> <p>22,5 mJ, Repetition rate: 1 Hz,</p>	«Αποδεκτό»	Απομακρύνθηκαν σχεδόν όλα τα εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα.

	<p>Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 3 shots.</p>	<p>Μικροσκοπικά δε φαίνεται προσβολή στην επιφάνεια, αλλά σα να έχει αλλάξει η επιφάνεια χρώμα πιο γκρι μωβ. Με γυμνό μάτι, η επιφάνεια φαίνεται κατά τόπους να έχει κίτρινο χρώμα- απογυμνωμένη και κατά τόπους γκρι χρώμα και να ιριδίζει.</p>
--	---	--

ΕΜΠ ΝΟΜΙΣΜΑ c02

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια όπου δεν καλύπτεται από προϊόντα είναι λεία.

Διάβρωση-Επικαθίσεις: Η επιφάνεια του νομίσματος καλύπτεται από λεπτό καφέ και γυαλιστερό στρώμα οξειδίων του χαλκού (πατίνα), ενώ πράσινα προϊόντα - κηλίδες χλωριούχων προϊόντων του χαλκού μαζί με επικαθίσεις χόματος εμφανίζονται κατά τόπους στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας. Στο γράμμα Ι, πάνω από το κεφάλι, εμφανίζεται λεπτό στρώμα κυπρίτη.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων διάβρωσης στις περιοχές με pitting corrosion χωρίς να επηρεαστεί η πατίνα στις γύρω περιοχές.

α/α	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
I, πάνω και δεξιά	<p>NdYAG, 1064nm,</p> <p>(Τάση τροφοδοτικού για το laser: 855 V)</p> <p>120 mJ,</p> <p>Repetition rate:1 Hz,</p> <p>Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm², wet,</p> <p>Speed x:600 st/s</p> <p>Speed y:3000 st/s</p> <p>Repetition rate:5 Hz,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,4 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής 5 σαρώσεις, αλλά με επικάλυψη.</p>	Μη αποδεκτό	<p>Έχει προσβάλλει την πατίνα. Η επιφάνεια εμφανίζεται ματ και μωβ.</p> <p>Έχουν απομακρυνθεί κατά τόπους τα προϊόντα και οι επικαθίσεις. Στο γράμμα I, πάνω από το κεφάλι, απομακρύνθηκε το λεπτό στρώμα κυπρίτη μέχρι την αρχική επιφάνεια.</p>

ΕΜΠΙ ΝΟΜΙΣΜΑ 10

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια στις περιοχές όπου δεν καλύπτεται από κρούστες είναι λεία.

Διάβρωση-Επικαθίσεις: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από καφέ στρώμα (πατίνα) και πράσινες κρούστες προϊόντων διάβρωσης του χαλκού μαζί με εξογκώματα κυπρίτη. Παρουσιάζεται επίσης, κατά τόπους, διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion) με ανοιχτόχρωμο πράσινο εύθρυπτο προϊόν. Αποτέλεσμα αυτής της μορφής διάβρωσης είναι η δημιουργία μικρών κρατήρων κάτω από την πραγματική επιφάνεια. Υπάρχουν λίγα χρώματα στις εσοχές.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων διάβρωσης και η εξομάλυνση των εξογκωμάτων με παράλληλη διατήρηση της πατίνας.

α/α	Laser /Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1, στη μέση αριστερά, κοντά στην περιφέρεια	NdYAG 1064 nm, Free: 300mJ, 1Hz, 2mm, wet,	Μη αποδεκτό	Απομάκρυνση πράσινων προϊόντων και εμφάνιση κυπρίτη. Βρισκόμαστε πάνω από την αρχική επιφάνεια αλλά παρατηρείται θερμικό αποτέλεσμα (εμφανίζεται με μεγάλα γυαλιστερά σταγονίδια στο μικροσκόπιο) και επιμετάλλωση (δημιουργία κόκκων με μεταλλική υφή).
2α, πάνω από την περιοχή Νο 1	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, 1Hz, 2mm, wet, (4,2 J/cm ²) 1 φορά	Αποδεκτό	Βρισκόμαστε ακόμη πάνω από την αρχική επιφάνεια. Στα σημεία που εμφανίστηκε ο κυπρίτης η επιφάνεια έγινε ματ, τραχιά και μωβ. Τα εξογκώματα και η κρούστα δεν επηρεάστηκαν παρά μόνο από τη χρωματική αλλοίωση.
2β, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064 nm, LQS: 250 mJ, 1Hz, 5,5 mm, wet, (0,9 J/cm ²), 5 επαναλήψεις	Καμία επίδραση	Δεν έχει αποτέλεσμα.
2γ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064 nm, LQS: 380 mJ, 1Hz, 5,5 mm, wet, (1,4 J/cm ²), 8 επαναλήψεις σε όλη την	Μικρή επίδραση	Η επιφάνεια είναι μωβ, τα πράσινα προϊόντα απομακρύνθηκαν λίγο σε μια περιοχή και τα εξογκώματα παραμένουν.

	περιοχή και 10 επαναλήψεις στα πράσινα προϊόντα επιλεκτικά		
2δ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, 1Hz, 2 mm, wet, (4,2 J/cm ²), 6 (1+5) επαναλήψεις	Αποδεκτό	Από την πρώτη εφαρμογή φαίνεται ότι τα εξογκώματα έχουν κατέβει αρκετά ενώ τα πράσινα προϊόντα παραμένουν. Φαίνεται ότι πλησιάζουμε την αρχική επιφάνεια. Μετά από τις 5 επόμενες επαναλήψεις τα εξογκώματα κατέβηκαν αρκετά αλλά όχι τελείως.
2ε, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064 nm, LQS: 250 mJ, 1Hz, 2 mm, wet, (8 J/cm ²), 5 (1+4) επαναλήψεις	Μη αποδεκτό	Από την πρώτη εφαρμογή φαίνεται ότι η επιφάνεια έχει μαυρίσει. Μετά από τις 5 συνολικά επαναλήψεις η επιφάνεια έχει γίνει ματ και ο καθαρισμός έχει προχωρήσει κάτω από την αρχική επιφάνεια.
2στ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064 nm, LQS: 380 mJ, 1Hz, 2 mm, wet, 1 φορά επιλεκτικά	Μη αποδεκτό	Δοκιμάσαμε με πολύ μεγάλη ενέργεια και δέσμη εστίας (επειδή με μεγάλη διάμετρο ακτίνας, 5,5 mm, δεν έχουμε αποτελέσματα) σε κάποια εξογκώματα που επιμένουν αλλά το αποτέλεσμα είναι ανεπιθύμητο. Δημιουργούνται κρατήρες κάτω από την αρχική επιφάνεια και θερμικό αποτέλεσμα το οποίο εμφανίζεται με πολύ μικρά σταγονίδια σε μεγάλη μεγέθυνση στο μικροσκόπιο.
3, δεξιά από την περιοχή Νο 2	NdYAG 1064 nm, Free: 350mJ, 1Hz, 2mm, wet, (11 J/cm ²) 1 φορά στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής εκτός από την άκρη προς την περιφέρεια.	Μη αποδεκτό	Παρατηρείται θερμικό αποτέλεσμα με μεγάλα γυαλιστερά σταγονίδια όχι μόνο στην περιοχή που έχουμε ακτινοβολήσει αλλά και στην ευρύτερη περιοχή
4, δεξιά από την περιοχή Νο 3	NdYAG 1064 nm, Free: 250mJ, 1Hz, 2mm, wet, 1 φορά Και NdYAG 1064 nm, LQS: 250 mJ, 1Hz, 2 mm, wet, (8 J/cm ²), 1 φορά	Μη αποδεκτό	Η περιοχή χωρίστηκε στη μέση και εφαρμόστηκαν και τα δύο laser με την ίδια ενέργεια και διάμετρο δέσμης για σύγκριση της επιφάνειας που αφήνουν. Με το Free παρατηρείται θερμικό αποτέλεσμα και η επιφάνεια γίνεται γυαλιστερή. Με το LQS η επιφάνεια γίνεται ματ και μωβ.

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Υπάρχουν λίγα χρώματα στις εσοχές.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από καφέ στρώμα (πατίνα) και πράσινες κρούστες προϊόντων διάβρωσης του χαλκού μαζί με εξογκώματα κυπρίτη. Παρουσιάζεται επίσης, κατά τόπους, διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion) με ανοιχτόχρωμο πράσινο εύθρυπτο προϊόν. Αποτέλεσμα αυτής της μορφής διάβρωσης είναι η δημιουργία μικρών κρατήρων κάτω από την πραγματική επιφάνεια.

Παρατηρήσεις: Και με τα δύο lasers (NdYAG 1064 nm, Free και NdYAG 1064 nm, LQS) τα αποτελέσματα είναι ανεπιθύμητα.

- Όταν ο τύπος της διάβρωσης είναι pitting corrosion χρειάζεται εστιασμένο spot size, πολύ μικρότερο των 2mm... και μικροσκόπιο. Από τις δοκιμές όμως με διαφορετικές διαμέτρους ακτίνας βλέπουμε ότι η εστιασμένη δέσμη είναι πολύ δραστική (**μεγάλη πυκνότητα ενέργειας**).
- Κατά τη διάρκεια του καθαρισμού δεν μπορούμε να διακρίνουμε τα διαφορετικά προϊόντα διάβρωσης βάσει του χρώματος γιατί έχουμε το φαινόμενο της χρωματικής αλλοίωσης (μωβ χρώμα). Οπότε είναι πολύ δύσκολο να προσδιορίσουμε την αρχική επιφάνεια.
- Η επιφάνεια με το NdYAG 1064 nm, Free γίνεται ματ ενώ με το NdYAG 1064 nm, LQS γυαλιστερή.
- Με το NdYAG 1064 nm, Free, σε μέτριες σχετικά ενέργειες (250-350 mJ) και πυκνότητα ενέργειας 11 J/cm², παρατηρούμε ότι παρουσιάζεται θερμικό αποτέλεσμα ακόμη και με μια εφαρμογή.
- Με το NdYAG 1064 nm, LQS στη χαμηλότερη ενέργεια (130 mJ) προχωράμε ελεγχόμενα σε σχέση με το άλλο.

ΕΜΠ ΝΟΜΙΣΜΑ 13

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια κατά τόπους είναι λεία και φέρει πολλές εγχαράξεις. Εντοπίζονται ελάχιστα χρώματα μόνο σε μια μικρή περιοχή. Από την κατάσταση της επιφάνειας υπάρχει η αίσθηση ότι το νόμισμα έχει υποστεί προηγούμενες επεμβάσεις καθαρισμού.

Διάβρωση: Η επιφάνεια του νομίσματος καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος από λεπτό καφέ και γυαλιστερό στρώμα οξειδίων του χαλκού (πατίνα). Σε περιοχές που εξέχουν φαίνεται ότι έχει αποκαλυφθεί ο μεταλλικός πυρήνας αλλά και εκεί η επιφάνεια καλύπτεται από πολύ λεπτό καφέ στρώμα οξειδίων του χαλκού. Παρατηρούνται κατά τόπους μικρά εξογκώματα κυπρίτη, καθώς και πράσινα προϊόντα και κηλίδες χλωριούχων προϊόντων του χαλκού (ενεργός διάβρωση) εκεί όπου υπάρχει διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion).



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων διάβρωσης στις περιοχές με pitting corrosion και η εξομάλυνση των εξογκωμάτων χωρίς να επηρεαστεί η πατίνα στις γύρω περιοχές.

a/a	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1a, κεφάλι	NdYAG 1064 nm, Free: 100mJ, 1Hz, 6mm, wet, (0,4 J/cm ²)	Σχεδόν καμία επίδραση	Ήπια αποτελέσματα, δεν έχουν απομακρυνθεί τα πράσινα προϊόντα.
1b, κεφάλι	NdYAG 1064 nm, Free: 200mJ, 1Hz, 6mm, wet, (0,7 J/cm ²)	Όχι αποδεκτό, (θερμικό αποτέλεσμα)	Έχουν απομακρυνθεί περισσότερα πράσινα προϊόντα. Η επιφάνεια έγινε στιλπνή με σταγονίδια σχετικά μεγάλα (θερμικό αποτέλεσμα).
2α, μέσα στις κοιλότητες	NdYAG 1064 nm, Free: 150mJ, 1Hz, 2mm, wet, (4,8 J/cm ²)	Όχι αποδεκτό, (θερμικό αποτέλεσμα)	Έχουν απομακρυνθεί κάποια πράσινα προϊόντα και διατηρείται ένα μαύρο στρώμα τενοριτή?. Η επιφάνεια έγινε στιλπνή με σταγονίδια σχετικά μικρά (θερμικό αποτέλεσμα).
2α, μέσα στις κοιλότητες	NdYAG 1064 nm, Free: 100mJ, 1Hz, 2mm, wet, (3,2 J/cm ²)	Όχι αποδεκτό, (θερμικό αποτέλεσμα)	Έχουν απομακρυνθεί κάποια πράσινα προϊόντα και διατηρείται ένα μαύρο στρώμα τενοριτή? Η επιφάνεια έγινε στιλπνή με σταγονίδια, τα οποία φαίνονται σε μεγάλη μεγέθυνση στο μικροσκόπιο πάνω από το μαύρο στρώμα... (θερμικό αποτέλεσμα).
3α, Στις κοιλότητες πίσω από το κεφάλι	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, 1Hz, 2mm, wet, (4,2 J/cm ²)	Όχι αποδεκτό (όχι θερμικό αποτέλεσμα)	Έχει προσβάλλει την επιφάνεια του κυπρίτη – πατίνα χωρίς να παρατηρείται θερμικό αποτέλεσμα.
3β, Στις κοιλότητες κοντά στην περιφέρεια	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, 1Hz, 5mm, wet, (0,7 J/cm ²)	Όχι αποδεκτό (όχι θερμικό αποτέλεσμα)	Έχει προσβάλλει την επιφάνεια του κυπρίτη – πατίνα χωρίς να παρατηρείται θερμικό αποτέλεσμα.
4α, Στη περιφέρεια κάτω από το λαϊμό, αριστερά	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2mm, wet, (2,1 J/cm ²)	Αποδεκτό	Έχει απομακρύνει προϊόν από τα εξογκώματα κυπρίτη (χωρίς να παρατηρείται θερμικό αποτέλεσμα).
4β, Στη περιφέρεια κάτω από το λαϊμό, δεξιά	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4mm, wet, (0,55 J/cm ²)	Καμία επίδραση	Καμία επίδραση στα εξογκώματα κυπρίτη και πράσινα προϊόντα
4γ, Στη περιφέρεια κάτω από το λαϊμό, αριστερά	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2mm, wet, (2,1 J/cm ²)	Μη αποδεκτό	Έχει προσβάλλει την αρχική επιφάνεια χωρίς να απομακρυνθούν τα πράσινα προϊόντα. Έχει καταβάσει λίγο τα εξογκώματα.
4δ, Στη περιφέρεια κάτω από το λαϊμό,	NdYAG 1064 nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz,	Μη αποδεκτό	Έχει προσβάλλει την αρχική επιφάνεια χωρίς να απομακρυνθούν τα πράσινα προϊόντα. Έχει

δεξιά	4mm, wet, (0,55 J/cm ²)		κατεβάσει λίγο τα εξογκώματα.
5, Κέντρο στο αυτί	NdYAG, 266nm, με εξασθενητή (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 850 V) 4,89 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,555 mm ² , wet, Απόσταση φακού- αντικειμένου 45cm (0,88 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Μη αποδεκτό	Έχει προσβάλλει την αρχική επιφάνεια χωρίς να απομακρυνθούν όλα τα προϊόντα από τις εσοχές. Έχουν παραμείνει πράσινα προϊόντα και μαύρο στρώμα στις εσοχές, αλλά η επιφάνεια έχει αποκτήσει ματ ηφή και είναι απογυμνωμένη.
6, Αριστερά έως την περιφέρεια	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 1000 V) 206 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm ² , wet, Speed x:2600 st/s Speed y:3500 st/s Repetition rate:1 Hz, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,68 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής 1 σάρωση, αλλά με επικάλυψη.	«Μη αποδεκτό»	Έχει προσβάλλει την αρχική επιφάνεια χωρίς να απομακρυνθούν όλα τα προϊόντα από τις εσοχές. Έχουν παραμείνει πράσινα προϊόντα σε ελάχιστα σημεία. Έχουμε ομοιόμορφη απομάκρυνση προϊόντων με σχετικά μικρή προσβολή της πατίνας.
7, Πάνω δεξιά	NdYAG 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 950 V) 86,72 mJ,	«Μη αποδεκτό»	Έχει προσβάλλει την αρχική επιφάνεια χωρίς να απομακρυνθούν όλα τα προϊόντα από τις εσοχές. Έχουν παραμείνει ίχνη πράσινων προϊόντων σε ελάχιστα σημεία. Έχουμε απομάκρυνση των προϊόντων αλλά και προσβολή της πατίνας.

	<p>Repetition rate:2 Hz,</p> <p>Spot size: 0,078 cm², dry,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm</p> <p>(1,111 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.</p>		
8, Πάνω δεξιά	<p>NdYAG 532 nm,</p> <p>(Τάση τροφοδοτικού για το laser: 950 V)</p> <p>86,72 mJ,</p> <p>Repetition rate:2 Hz,</p> <p>Spot size: 0,078 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm</p> <p>(1,111 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.</p>	«Μη αποδεκτό»	Έχει προσβάλλει την αρχική επιφάνεια χωρίς να απομακρυνθούν όλα τα προϊόντα από τις εσοχές. Έχουν παραμείνει πράσινα προϊόντα σε ελάχιστα σημεία. Έχουμε απομάκρυνση των προϊόντων αλλά και προσβολή της πατίνας.
9, Πάνω δεξιά	<p>NdYAG 532 nm,</p> <p>(Τάση τροφοδοτικού για το laser: 839 V)</p> <p>31 mJ,</p> <p>Repetition rate:2 Hz,</p> <p>Spot size: 0,0483 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm</p> <p>(0,6 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 1 shot</p>	«Μη αποδεκτό»	Έχει προσβάλλει την αρχική επιφάνεια χωρίς να απομακρυνθούν όλα τα προϊόντα από τις εσοχές. Έχουν παραμείνει πράσινα προϊόντα σε ελάχιστα σημεία. Έχουμε απομάκρυνση των προϊόντων αλλά και προσβολή της πατίνας.
10α, κάτω δεξιά, λωρίδα ανάμεσα στον καθαρισμό 3 και 4.	<p>NdYAG 355 nm,</p> <p>(Τάση τροφοδοτικού για το laser: 876 V)</p> <p>10,56 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz,</p> <p>Speed x:15,26 st/s</p> <p>Speed y:0 st/s,</p>	«Αποδεκτό»	Έλεγχος στην 1 σάρωση: Στην περιοχή δεξιά τα πράσινα προϊόντα στις εσοχές παραμένουν, ίσως να έχουν απομακρυνθεί λίγα... Η πατίνα έχει προσβληθεί έχει γίνει ματ αλλά διατηρείται σε όλη την περιοχή του καθαρισμού μαζί με τις λεπτομέρειες της επιφάνειας. Καλύψαμε την περιοχή αριστερά με το στρώμα

	Spot size: 0,105 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 58 cm (0,1 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής		οξειδίων.
10β, στην ίδια περιοχή δεξιά, εκεί όπου επιμένουν τα πράσινα προϊόντα	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 876 V) 10,56 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:0 st/s, Spot size: 0,105 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 58 cm (0,1 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έλεγχος στις 2 σαρώσεις: Τα πράσινα προϊόντα στις εσοχές παραμένουν, ίσως να έχουν απομακρυνθεί λίγο... Όπου υπήρχαν προϊόντα οξειδίων έχουν απομακρυνθεί και διατηρείται ένα ομοιόμορφο στρώμα οξειδίων.

Παρατηρήσεις:

Όταν ο τύπος της διάβρωσης είναι pitting corrosion χρειάζεται εστιασμένο spot size, πολύ μικρότερο των 2mm.

Κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό.

Με το NdYAG 1064 nm, Free, με μικρή-μέτρια ενέργεια 150 mJ και 200 mJ και διάμετρο 6mm και 2mm προκαλείται θερμικό αποτέλεσμα και με μια μόνο εφαρμογή.

Με το NdYAG 1064 nm, LQS με ή χωρίς εξασθενητή, δεν προκαλείται θερμικό αποτέλεσμα αλλά προσβάλλεται η πατίνα και προχωράει ο καθαρισμός κάτω από την αρχική επιφάνεια.

ΕΜΠ ΝΟΜΙΣΜΑ 19

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια στο μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από στρώμα χώματος.

Διάβρωση: Στις περιοχές που εξέχουν η επιφάνεια καλύπτεται από καφέ στρώμα οξειδίων του χαλκού και κάτω από το χώμα υπάρχει στρώμα πράσινων προϊόντων διάβρωσης .



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση του χώματος χωρίς να επηρεαστεί η πατίνα.

<i>a/a</i>	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, μια κάθετη λωρίδα, αριστερά από τη μέση	NdYAG 1064 nm, Free: 100mJ, 1Hz, 2mm, wet, (3,2 J/cm ²) σε 3 σειρές δίπλα-δίπλα	Μη αποδεκτό	Το χώμα απομακρύνεται, όχι όμως και από τις εσοχές. Η επιφάνεια γίνεται λίγο μωβ, πορώδης και γυαλιστερή.
1β, στην ίδια περιοχή, μέσα στην οπή	NdYAG 1064 nm, Free: 150mJ, 1Hz, 2mm, wet, (4,8 J/cm ²), 3 επαναλήψεις επιλεκτικά	Καμία επίδραση	Καμία επίδραση ή δεν έγινε σωστά η βολή. Το χώμα μέσα στην οπή παραμένει.

	στην οπή		
2, αριστερά της περιοχής Νο 1	NdYAG 1064 nm, Free: 150mJ, 1Hz, 2mm, wet, (4,8 J/cm ²) σε 2 σειρές δίπλα-δίπλα	Μη αποδεκτό	Προχωρά πιο πολύ. Η επιφάνεια έγινε πορώδης.
3, αριστερά της περιοχής Νο 2	NdYAG 1064 nm, Free: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1,6 J/cm ²)	Μη αποδεκτό	Το χρώμα καθάρισε, η επιφάνεια όμως έγινε μωβ. Ας σημειωθεί ότι η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε σε σχέση με τις μεγαλύτερες, δίνει πολύ καλύτερη επιφάνεια όχι τόσο πορώδη και τόσο μωβ.
4, αριστερά της περιοχής Νο 2 και πάνω από την περιοχή Νο 3	NdYAG 1064 nm, Free: 50mJ, 1Hz, 4mm, wet, (1,6 J/cm ²), 3(1+1+1) επαναλήψεις	Αποδεκτό	Με την πρώτη εφαρμογή δεν απομακρύνθηκε το χρώμα. Είναι πολύ ήπια η δράση. Στην δεύτερη επανάληψη το χρώμα απομακρύνεται κατά τόπους και η επιφάνεια δεν γίνεται ούτε πορώδης ούτε μωβ. Στην τρίτη επανάληψη απομακρύνεται περισσότερο χρώμα και η επιφάνεια είναι καλή, αποκαλύπτεται καφέ όπως είναι το στρώμα διάβρωσης κάτω από το χρώμα.
5, δεξιά από την περιοχή Νο 1	NdYAG 1064 nm, Free: 50mJ, 1Hz, 4mm, dry, (0,4 J/cm ²),	Μη αποδεκτό (θερμικό αποτέλεσμα)	Το χρώμα απομακρύνθηκε αλλά ο καθαρισμός προχώρησε κάτω από την αρχική επιφάνεια , προκαλώντας χρωματική αλλοίωση στο στρώμα των προϊόντων (μωβ) και θερμικό αποτέλεσμα με τη δημιουργία μικρών σφαιριδίων.

ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Παρατηρήθηκε ότι σε πολλές περιπτώσεις είχαμε μαύρισμα των επιφανειών λόγω καύσης ή αλλοίωση της επιφάνειας λόγω αύξησης της θερμοκρασίας στις επιφάνειες των νομισμάτων.

Οδηγηθήκαμε στο να μελετήσουμε λίγο πιο εντατικά τα θερμικά φαινόμενα τα οποία δημιουργούνται στις επιφάνειες των μετάλλων όταν δέχονται εφαρμογές με παλμούς laser.

Για την καλύτερη κατανόηση της ανάπτυξης θερμικών φαινομένων κατά τη διάρκεια των εφαρμογών laser προς καθαρισμό νομισμάτων έγιναν 47 διαφορετικά τεστ.

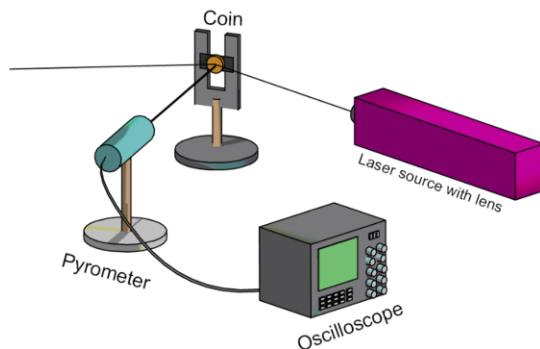
Χρησιμοποιήθηκε πληθώρα μηκών κύματος (υπεριώδες, ορατό, υπέρυθρο) διάφορων συστημάτων laser (q-switched, long q-switched, free Nd:YAG).

Τα αποτελέσματα δεν ήταν πάντα ικανοποιητικά, διότι κάποιες φορές είχαμε αποχρωματισμό των μετάλλων και άλλου είδους θερμικά φαινόμενα.

Γενικά η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει μέταλλα τα κράματα τους και τις οξειδώσεις τους.

Αποφασίστηκε, ότι ο καλύτερος τρόπος, να μετρηθεί η διάχυση της θερμοκρασίας, ήταν με την χρήση ενός υπέρυθρου θερμόμετρου (πυρόμετρο) υψηλής απόδοσης, το οποίο θα έκανε μετρήσεις στην επιφάνεια των νομισμάτων (κράματα χαλκού και κράματα αργύρου) κατά την διάρκεια των καθαρισμών με χρήση laser.

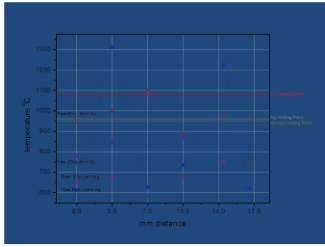
Εξεταστήκαν σε διάφορα συστήματα laser διαφορετικές παράμετροι, όπως η επαναληπτικότητα, η ενέργεια εξόδου και η πυκνότητα ενέργειας.



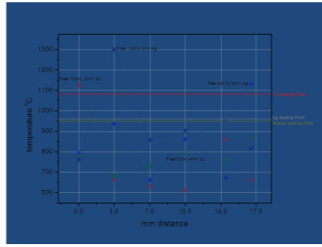
Η διάταξη με την οποία έγιναν οι μετρήσεις με το πυρόμετρο (Φώτο αριστερά) και η χημική σύσταση των νομισμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα (πίνακας)

ΝΟΜΙΣΜΑΤΑ		Ag%	Cu%	Sn%	Pb%
1	ΚΡΑΜΑ ΧΑΛΚΟΥ	1.07	85.44	6.97	3.15
2	ΚΡΑΜΑ ΑΡΓΥΡΟΥ	68.73	2.06	13.11	1.66
3	ΚΡΑΜΑ ΑΡΓΥΡΟΥ	96.05	2.23	-	-

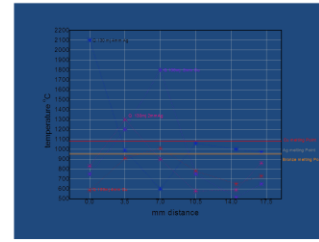
Γραφικές παραστάσεις, οι οποίες πρόεκυψαν και μας δείχνουν την θερμοκρασία ως συνάρτηση της απόστασης κατά την διάρκεια της ακτινοβολήσης.



1



2



3

Νόμισμα 1: Η περιοχή, όπου εφαρμόστηκε free Nd:YAG 1064 nm με ενέργεια ανά παλμό 50 mj, πυκνότητα ενέργειας 0.4-1.6 j/cm², 2-4 shots,επαναληπτικότητα 1 Hz,στο σύστημα laser η δέσμη μεταφερόταν μέσω οπτικής ίνας.

Νόμισμα 2: Η περιοχή, όπου εφαρμόστηκε Nd:YAG 532nm με πυκνότητα ενέργειας 0.28 j/cm², επαναληπτικότητα 0.5 Hz,το υπόθεμα βρισκόταν τοποθετημένο σε ηλεκτρονικό βερνιέρο και έγινε σάρωση περιοχής.

Νόμισμα 3: Η περιοχή όπου εφαρμόστηκε LQS Nd:YAG 1064 nm με πυκνότητα ενέργειας 0.25 – 0.95 j/cm², επαναληπτικότητα Hz, 6-9 εφαρμογές (shots). στο σύστημα laser η δέσμη μεταφερόταν μέσω οπτικής ίνας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

- Αποδείχτηκε ότι υπάρχει περίπτωση να υπάρξει ζημιά στην επιφάνεια των νομισμάτων από διαφορετικά μήκη κύματος των q-switched, long q-switched και free Nd:YAG συστημάτων laser, η οποία δεν είναι ορατή με γυμνό μάτι.
Με την χρήση όμως κατάλληλων μικροσκοπίων για laser, εξασθενητές, φίλτρα, ψηφιακά μόνιτορ παρακολούθησης και υψηλής ποιότητας δέσμης, μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε τις βλάβες σε μηδενικό επίπεδο στα σημεία ενδιαφέροντος των υποθεμάτων.
- Η ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (sem) ήταν πολύ χρήσιμη στην εξαγωγή συμπερασμάτων, διότι εξετάσαμε σε βάθος τη μορφολογία τις επιφάνειες των νομισμάτων στις περιοχές ακτινοβολήσης πριν και μετά την εφαρμογή τους.
- Συμπεραίνουμε επομένως ότι νομίσματα, που έχουν δημιουργηθεί από κράματα που περιέχουν Ag, Cu, Pb και Sn, είναι εύκολα στην τήξη και χρειάζεται ιδιαίτερη φροντίδα κατά την διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων.

Τέταρτος κύκλος πειραμάτων

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 02

2. Χάλκινο νόμισμα, Κωνσταντίνος Β΄ (337-361 μ.Χ.), νομ. απροσδιόριστο, 353-360 μ.Χ. Παλιά Συλλογή – Διάφορα. Β: 2,194 γρ.

A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. V: *Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 304, αρ. 15 (παρ.).

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu (55.70%), Pb (9.54%), Sn (5.48%), Ag (0.96%), SEM, σε επιφάνεια χωρίς χρώματα, με πατίνα.

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος από χρώμα (αργιλοπυριτικά όπως δείχνει και η ανάλυση του SEM). Όπου, δεν υπάρχουν επικαθίσεις χρώματος, στα ανώτερα σημεία, η επιφάνεια καλύπτεται από ένα σκούρο πράσινο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του χαλκού.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση του στρώματος χρώματος και η διατήρηση της πατίνας

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, πάνω αριστερά (σύμφωνα με τη φωτογραφία) σε όλη την περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 5 mm, wet, (0,35 J/cm ²).	Καμία επίδραση	Οι επικαθήσεις χόματος δεν επηρεάστηκαν καθόλου.
1β, σε όλη την περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 3 επαναλήψεις (βήμα-βήμα)	Αποδεκτό	Οι επικαθήσεις χόματος απομακρύνθηκαν ελάχιστα έως καθόλου. Μετά την τρίτη βολή φαίνεται ότι κοντά στην περιφέρεια κατέβηκε η πατίνα κάνοντας την επιφάνεια λίγο πορώδη και καφέ.
1γ, στην ίδια περιοχή, επιλεκτικά, όχι στην πατίνα	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά	Μη αποδεκτό	Αρχικά έγινε μόνο ένα spot δεξιά από το N, όπου έφυγε όλο το χόμα. Η επιφάνεια φαίνεται καλή, δεν είναι όμως πράσινη, αλλά καφέ. Στη συνέχεια έγινε μια φορά όλη η επιφάνεια εκτός από τα γράμματα και την περιφέρεια που υπάρχει η πατίνα. Το χόμα φεύγει πολύ καλά αλλά η επιφάνεια επηρεάζεται πολύ. Γίνεται πορώδης και φεύγει η πατίνα αλλά δεν παρατηρείται θερμική αλλοίωση.
2α, δίπλα από την περιοχή 1	NdYAG 1064nm, FREE: 50mJ, 1Hz, 4 mm, wet, (0,4 J/cm ²), 2 επαναλήψεις	Καμία επίδραση	Καμία επίδραση
2β, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, FREE: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1,6 J/cm ²), 4 επαναλήψεις (2+2)	Αποδεκτό	Στα 2 πρώτα shots φαίνεται οριακά να απομακρύνεται το χόμα. Στα 2 επόμενα shots παρατηρούμε σχετική απομάκρυνση του χόματος και οριακή εμφάνιση των spots.
2γ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, FREE: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1,6 J/cm ²), 3 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Με 3 επαναλήψεις σε όλη την περιοχή, τα χόματα απέκτησαν κοκκώδη μορφή.
2δ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, FREE: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1,6 J/cm ²), 3 επαναλήψεις	Μη αποδεκτό	Με 3 επαναλήψεις σε όλη την περιοχή, τα χόματα απομακρύνθηκαν σε 3 σημεία στα οποία δεν διατηρείται η πατίνα.
2ε, στην ίδια περιοχή, επιλεκτικά	NdYAG 1064nm, FREE: 50mJ, 1Hz, 4 mm, wet, (0,4 J/cm ²), 5 επαναλήψεις, επιλεκτικά	Μη αποδεκτό	Ανά 5 shots επιλεκτικά πάνω στο χόμα, σίγουρα έφυγε το shot και στην «καθαρή» επιφάνεια και παρατηρείται στη διεπιφάνεια χόματος-επιφάνειας νομίσματος, θερμικό αποτέλεσμα.

	πάνω στο χρώμα		
3α, μια πολύ μικρή περιοχή δεξιά από την περιοχή 2	NdYAG 1064nm, FREE: 50mJ, 1Hz, 4 mm, wet, (0,4 J/cm ²) 20 επαναλήψεις (2+2+2+4+5+5)	Καμία επίδραση	Μετά από 20 επαναλήψεις δεν παρατηρείται καμία επίδραση.
3β, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, FREE: 100 mJ, 1Hz, 4 mm, wet, (0,8 J/cm ²) 19 επαναλήψεις (1+3+5+5+5)	Καμία επίδραση	Μετά από 19 επαναλήψεις δεν παρατηρείται καμία επίδραση.
3γ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, FREE: 150 mJ, 1Hz, 4 mm, wet, (1,2 J/cm ²) 41 επαναλήψεις (1+5+5+10+20)	Καμία επίδραση	Μετά από 41 επαναλήψεις δεν παρατηρείται καμία επίδραση.
3δ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, FREE: 200 mJ, 1Hz, 4 mm, wet, (1,6 J/cm ²) 20 επαναλήψεις (5+5+10)	Καμία επίδραση	Μετά από 20 επαναλήψεις δεν παρατηρείται καμία επίδραση.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος από χρώμα (αργιλοπυριτικά όπως δείχνει και η ανάλυση του SEM. Στα ανώτερα σημεία, η επιφάνεια καλύπτεται από ένα σκούρο πράσινο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του χαλκού και πάνω από αυτό εντοπίζεται λεπτό στρώμα χρώματος.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
4α, κάτω αριστερά, στο N...0, περιοχή 0,3 cm ²	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 810 V) 2,5 mJ, Speed x:15,26 st/s Speed y: 250 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,4 mm ² , wet, Απόσταση	Καμία επίδραση	Οι επικαθίσεις χρώματος δεν επηρεάστηκαν καθόλου. Ούτε και η πατίνα

	φακού αντικειμένου 40 cm (0,625 J/cm ²), 2 σαρώσεις.		
4β, κάτω αριστερά, στο N...0, περιοχή 0,3 cm ²	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 870 V) 5,4 mJ, Speed x:15,26 st/s Speed y: 250 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,4 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 40 cm	Αποδεκτό –Ηπιο	Οι επικαθίσεις χρώματος επηρεάστηκαν ελάχιστα... απομακρύνθηκαν σε ένα σημείο.
4γ, κάτω αριστερά, στο N...0, περιοχή 0,3 cm ²	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 955 V) 11,2 mJ, Speed x:15,26 st/s Speed y: 250 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,4 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 40 cm (? J/cm ²), 5 σαρώσεις.	Αποδεκτό, μέχρι την 3 σάρωση δεν φαινόταν κάποιο αποτέλεσμα..., 4 καλύτερο αποτέλεσμα?	Οι επικαθίσεις χρώματος απομακρύνθηκαν κατά τόπους. Στις περιοχές αυτές εντοπίζεται πολύ λεπτό στρώμα επικαθίσεων χρώματος, το πράσινο στρώμα πατίνας και μάλλον και στρώμα οξειδίων, ίσως ο καθαρισμός έχει περάσει κάτω από την αρχική επιφάνεια.
5α, περιοχή δεξιά από τη μέση και κάτω, στο V	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.	Καμία επίδραση	Έλεγχος στα 3 shots: Καμία επίδραση στις επικαθίσεις χρώματος.
5β, περιοχή δεξιά από τη μέση και κάτω, κοντά στην ορθία μορφή, πάνω αριστερά :	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με	Σχεδόν καμία επίδραση	Έλεγχος στα 6 shots: Σχεδόν καμία επίδραση στις επικαθίσεις χρώματος.

	σταθμό μικρομηχανικής.		
5γ, περιοχή δεξιά από τη μέση και κάτω, κοντά στην ορθία μορφή, στη μέση αριστερά :	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.	Αποδεκτό	Έλεγχος στα 12 shots: Απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος, σε πιο μικρή περιοχή από τα shots.
5δ, περιοχή δεξιά από τη μέση και κάτω, στο κέντρο :	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.	Αποδεκτό	Έλεγχος στα 24 shots: Μερική απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος και εμφάνιση πράσινων προϊόντων. Έλεγχος σε άλλα 24 shots: Μερική απομάκρυνση προϊόντων και εμφάνιση κουλότητων.

Παρατηρήσεις:

Το NdYAG 1064nm LQS δε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αφαιρεί τις επικαθίσεις, αλλά και την πατίνα. Η επιφάνεια απέκτησε - κατά τόπους - μωβ χρώμα, από την αποκάλυψη του κυπρίτη και ματ υφή. Κατά τον καθαρισμό κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου. Το NdYAG 1064nm, FREE δίνει σχετικά καλύτερα αποτελέσματα (για απομάκρυνση χρώματος) από το NdYAG 1064nm LQS στη χαμηλότερη ενέργεια και διάμετρο δέσμης 2 mm μετά από πολλές όμως επαναλήψεις. Επίσης υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να απομακρυνθεί μαζί με το χρώμα και η πατίνα. Όπου όμως δεν υπάρχει χρώμα, αλλά μόνο πατίνα, παρατηρείται ότι ακόμη και σε χαμηλή ενέργεια με ανοικτή δέσμη, μπορεί να προκληθεί θερμικό αποτέλεσμα (βλ. αποτελέσματα μετρήσεων θερμοκρασίας - ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών γύρω από τη δέσμη). Κατά τον καθαρισμό κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 03

3. Φόλλις, Κωνσταντίνος Α΄ (307-337 μ.Χ.), νομ. Λυών, 313-317 μ.Χ. Παλιά Συλλογή-Διάφορα.
B: 2,635 γρ.

A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. V: *Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 174, αρ. 86.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu (85.44%), Sn(6.97%), Pb (3.15%), Ag (1.07%) SEM, σε σχετικά απογυμνωμένη επιφάνεια.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία, στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ένα καφέ στρώμα πατίνας; (οξειδίων του χαλκού;). Ενδεχομένως να υπάρχουν ίχνη από στρώμα; αργύρου. Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια έχει σχεδόν απογυμνωθεί και φαίνεται ο πυρήνας - ίσως καλύπτεται από ένα πολύ λεπτό κίτρινο στρώμα οξειδίων. Κρούστες κυρίως πράσινου αλλά και μπλε χρώματος καλύπτουν τις εσοχές μαζί με επικαθίσεις χρώματος.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των επικαθίσεων χρώματος καθώς και των πράσινων και μπλέ προϊόντων από την επιφάνεια και η διατήρηση της πατίνας. Εντοπισμός του στρώματος του Ag αν υπάρχει.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1, πάνω αριστερά, ανάμεσα στην κεφαλή και στο «N».	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 1shot.	Μη αποδεκτό	Καμία επίδραση στις κρούστες, αφαίρεση πατίνας πάνω στο γράμμα «N». Το shot είναι πολύ μεγάλο σε διάμετρο, οπότε επιδρά σε μεγαλύτερη ακτίνα από αυτή που θέλουμε να προσβάλουμε.
2, πάνω αριστερά, ανάμεσα στην κεφαλή και στο «O».	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 4mm, wet, (0,4 J/cm ²), 2 επαναλήψεις, 1 spot.	Καμία επίδραση	
3α, πάνω αριστερά, ανάμεσα στην κεφαλή και στο «S».	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1,6 J/cm ²), 1 spot.	Αποδεκτό	Μερική απομάκρυνση της πράσινης κρούστας και διατήρηση της πατίνας.
3β, στην ίδια περιοχή, στο ίδιο σημείο.	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 4mm, wet, (0,4 J/cm ²), 3 επαναλήψεις, 1 spot.	Καμία επίδραση	
3γ, στην ίδια περιοχή, στο ίδιο σημείο.	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 3mm, wet, (0,7 J/cm ²), 4 επαναλήψεις, 1 spot.	Αποδεκτό	Μερική απομάκρυνση της πράσινης κρούστας και διατήρηση της πατίνας (οριακά).
3δ, Πάνω αριστερά, όλη η περιοχή ανάμεσα στην κεφαλή και στα γράμματα «CON».	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1.6 J/cm ²).	Αποδεκτό	Μερική απομάκρυνση της πράσινης κρούστας και διατήρηση της πατίνας, όπως και στο «S» προηγουμένως.
4α, πάνω αριστερά, ανάμεσα στην κεφαλή και στο «S».	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1.6 J/cm ²) 2η επανάληψη της προηγούμενης (1 spot). Έγινε κάτω από το S.	Αποδεκτό	Μερική απομάκρυνση της πράσινης κρούστας και διατήρηση της πατίνας. (Αργυρος;)
4β, στην ίδια περιοχή, ανάμεσα στην κεφαλή και στα γράμματα «CON».	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1.6 J/cm ²). Έγινε κάτω από το CON	Αποδεκτό	Απομάκρυνση της πράσινης κρούστας και διατήρηση της πατίνας Παραμένει πράσινη κρούστα σε ορισμένα σημεία.

4γ, στην ίδια περιοχή, επιλεκτικά στα σημεία που παρατηρούνται κρούστες πάνω από τα γράμματα «CONS».	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 2mm, wet, (1.6 J/cm ²)	Αποδεκτό Ικανοποιητικό	Απομάκρυνση της κρούστας και διατήρηση της πατίνας.
4δ, στην ίδια περιοχή, ανάμεσα στα γράμματα της λέξης «CONS».	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, περίπου 1mm (καλύφθηκε η μισή δέσμη των 2 mm με χαρτάκι), wet, (1.6J/cm ²)	Μη αποδεκτό.	Απομάκρυνση πατίνας και θερμικό αποτέλεσμα επάνω στα γράμματα C, O και N (βλ. μετρήσεις θερμοκρασίας στις περιοχές περιφερειακά του spot). Υπάρχει δυσκολία ελέγχου της δέσμης...
4ε, στην ίδια περιοχή, ανάμεσα στο κεφάλι και τα γράμματα «ON»	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 4mm, wet, (0,4J/cm ²), 9 επαναλήψεις (3+3+3), καλύπτοντας τα γράμματα «ON» με χαρτάκι	Καμία επίδραση	Η κρούστες που έχουν παραμείνει, διάσπαρτες, σε αυτή την περιοχή δεν επηρεάζονται καθόλου. Τα shots έγιναν ανά τρία και ελέγχονταν κάθε φορά στο μικροσκόπιο. Στόχος ήταν η επιλογή κάποιων συνθηκών, οι οποίες θα απομάκρυναν τις εναπομείνοντες κρούστες, χωρίς να επηρεάσουν την πατίνα.
4στ, στην ίδια περιοχή, ανάμεσα στο κεφάλι και τα γράμματα «ON»	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 4mm, wet, (0,4 J/cm ²), 3 επαναλήψεις, καλύπτοντας τα γράμματα «ON» με χαρτάκι	Σχεδόν καμία επίδραση	Φαίνεται ότι κάτι αρχίζει να γίνεται και μαζί με την προηγούμενη επέμβαση (4ε) μετράμε 12 επαναλήψεις.
4ζ, στην ίδια περιοχή, ανάμεσα στο κεφάλι και τα γράμματα «ON»	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 4mm, wet, (0,4 J/cm ²), 8 επαναλήψεις (3+5), καλύπτοντας τα γράμματα «ON» με χαρτάκι	Καμία επίδραση	Στις 3 (συνολικά 15) επαναλήψεις δεν αλλάζει κάτι. Στις επόμενες 5 (συνολικά 20) πάλι δεν αλλάζει.
4η, στην ίδια περιοχή, ανάμεσα στο κεφάλι και τα γράμματα «ON»	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 3mm, wet, (0,7 J/cm ²) 4 (1+3) shots	Καμία επίδραση	Καμία επίδραση. Έλεγχος στο 1ο και στο 4ο.
4θ, στην ίδια περιοχή, ανάμεσα στο κεφάλι και τα γράμματα «ON»	NdYAG 1064nm, Free: 50mJ, 1Hz, 3mm, wet, (0,7 J/cm ²) 8 (3+5) shots	Καμία επίδραση	Καμία επίδραση. Έλεγχος στο 3ο και στο 8ο.
5α, ανάμεσα στο κεφάλι πίσω και τα	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν κατά τόπους οι πράσινες κρούστες και παραμένει το στρώμα οξειδίων -

γράμματα «IMP», 1 shot	το laser: 955 V) 11,2 mJ, Speed x:15,26 st/s Speed y: 250 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,4 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 40 cm (2,8 J/cm ²), 1 shot		πατίνα.
5β, ανάμεσα στο κεφάλι πίσω και τα γράμματα «IMP», περιοχή 0,3 cm ²	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 870 V) 5,4 mJ, Speed x:15,26 st/s Speed y: 250 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,4 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 40 cm (1,5 J/cm ²), 2 σάρωσεις.	Αποδεκτό.	Απομακρύνθηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό οι πράσινες κρούστες. Το στρώμα οξειδίων έχει επηρεαστεί κυρίως στα ανώτερα σημεία των αναγλύφων () και λιγότερο στο πεδίο.
5γ, στην ίδια περιοχή	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 870 V) 5,4 mJ, Speed x:15,26 st/s Speed y: 250 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,4 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 40 cm (1,5 J/cm ²), 1 σάρωση.	Μη αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν οι πράσινες κρούστες. Το στρώμα οξειδίων έχει επηρεαστεί.
6α, πάνω δεξιά	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 820 V) 100 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm ² , wet, Speed x:2600 st/s	Καμία επίδραση	

	<p>Speed y:3500 st/s,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,34 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής 1 σάρωση - “επικάλυψη”.</p>		
6β, πάνω δεξιά	<p>NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 910 V)</p> <p>150 mJ,</p> <p>Repetition rate:1 Hz,</p> <p>Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm², wet,</p> <p>Speed x:2600 st/s</p> <p>Speed y:3500 st/s</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,5 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 1 σάρωση - “επικάλυψη”.</p>	Σχεδόν καμία επίδραση	Ελάχιστη απομάκρυνση των πράσινων εύθρυπτων προϊόντων. Ίσως η πατίνα να επηρεάζεται λίγο και να εμφανίζεται πιο ματ?
6γ, στην ίδια περιοχή	<p>NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 1000 V)</p> <p>206 mJ,</p> <p>Repetition rate:1 Hz,</p> <p>Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm², wet,</p> <p>Speed x:2600 st/s</p> <p>Speed y:3500 st/s</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,68 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής</p>	«Αποδεκτό»	<p>Έλεγχος μετά από 2 σαρώσεις – “επικάλυψη”:</p> <p>Μερική απομάκρυνση των πράσινων εύθρυπτων προϊόντων. Η πατίνα επηρεάζεται, εμφανίζεται πιο ματ και μωβ.</p> <p>Έλεγχος μετά από 20 shot: Απομάκρυνση των πράσινων εύθρυπτων προϊόντων σε μεγαλύτερο βαθμό. Η πατίνα επηρεάζεται, εμφανίζεται ακόμη πιο ματ-πορώδης και μωβ,παρόλα αυτά το στρώμα του κυπρίτη διατηρείται.</p> <p>Έλεγχος μετά από άλλα 20 shot: Απομάκρυνση των πράσινων εύθρυπτων προϊόντων σε μεγαλύτερο βαθμό. Η πατίνα δε φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο.</p> <p>Έλεγχος μετά από άλλα 40 shot: Απομάκρυνση των πράσινων εύθρυπτων προϊόντων σε μεγαλύτερο βαθμό... αλλά όχι τελείως. Το στρώμα των οξειδίων φαίνεται να έχει απομακρυνθεί κατά τόπους.</p>

7*, κάτω δεξιά	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 910 V) 150 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm ² , wet, Speed x:2600 st/s Speed y:3500 st/s Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,5 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 5 shots.	Σχεδόν καμία επίδραση	Ελάχιστη απομάκρυνση των πράσινων εύθρυπτων προϊόντων. Ίσως η πατίνα να επηρεάζεται λίγο και να εμφανίζεται πιο ματ? Η επίδραση έγινε για συνδυαστεί με μηχανικό καθαρισμό και να εκτιμηθεί αν τα προϊόντα απομακρύνονται με μεγαλύτερη ευκολία.

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία, στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ένα καφέ στρώμα πατίνας; (οξειδίων του χαλκού). Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια έχει σχεδόν απογυμνωθεί και φαίνεται ο πυρήνας - ίσως καλύπτεται από ένα πολύ λεπτό κίτρινο στρώμα οξειδίων. Κρούστες κυρίως πράσινου αλλά και μπλε χρώματος καλύπτουν τις εσοχές και το πεδίο μαζί με επικαθίσεις χρώματος.

Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των επικαθίσεων χρώματος καθώς και των πράσινων και μπλέ προϊόντων από την επιφάνεια και η διατήρηση της πατίνας; Εντοπισμός του στρώματος του Ag αν υπάρχει.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
8α, γράμμα Ο	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet,	Καμία επίδραση ή σχεδόν καμία	

	Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 1 shot.		
8β, γράμμα L	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 2 shots.	Αποδεκτό	Τα εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα απομακρύνθηκαν σε ορισμένα σημεία και η επιφάνεια οξειδίων που άφησαν από κάτω δε φαίνεται να έχει επηρεαστεί από την προσβολή.
8γ, γράμμα I(N)	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 3 shots.	Μη αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν αρκετά εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα. Η επιφάνεια των οξειδίων έχει γίνει γκρι ματ.
8δ, γράμματα SOL	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Speed x:1200 st/s, 1,5mm/s Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.	Μη αποδεκτό	Έλεγχος στις 2 σαρώσεις: Απομακρύνθηκαν οριακά τα εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα και δεν επηρεάστηκε το στρώμα των οξειδίων. Έλεγχος στις 2-3 σαρώσεις: Απομακρύνθηκαν λίγο τα εύθρυπτα υποπράσινα προϊόντα και η επιφάνεια των οξειδίων έχει γίνει γκρι ματ.

Παρατηρήσεις:

Το NdYAG 1064nm, LQS δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε χαμηλή ενέργεια με εξασθενητή και ανοιχτή σχετικά δέσμη απομακρύνει την πατίνα, χωρίς να μπορεί να αφαιρέσει τις πράσινες κρούστες.

Το NdYAG 1064nm, Free δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στις πρώτες εφαρμογές, αλλά όταν θα πρέπει να γίνει επανάληψη της βολής στα σημεία όπου δεν έχουν απομακρυνθεί οι κρούστες ή η βολή θα πρέπει να αφαιρέσει πράσινες κρούστες ανάμεσα σε ανάγλυφα που διατηρούν την πατίνα τους, εντοπίζονται προβλήματα με την απομάκρυνση της πατίνας αλλά και θερμικό αποτέλεσμα.

Το θερμικό αποτέλεσμα επάνω στα γράμματα «CON» εξαιτίας βολής ανάμεσα στα γράμματα, μόνο με 50mJ, 1Hz, (2 mm) με την πρώτη εφαρμογή, δείχνει ότι ενδεχομένως υπάρχει συσχετισμός με τις προηγούμενες βολές στη γύρω περιοχή.

Κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό.

NOMISMA 04

Αργυρό τετράδραχμο, Αθήνα, 390-295 π.Χ.. Π.Κ. αύξ. αρ. 35. Β: 17,253 γρ.
Sylloge Nummorum Graecorum, Deutschland, Staatliche Münzsammlung München, Heft 14:Attika, Megaris, Ägina, München 2002, αρ. 90-98.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Ag (84.97%), Cu (0.47%), SEM, σε σημείο της επιφάνειας χωρίς χρώματα, με πολύ λεπτό στρώμα πατίνας. Από τα αποτελέσματα του SEM στο συγκεκριμένο σημείο, φαίνεται ότι υπάρχει AgCl: Cl (4.93%) και ίσως Ag₂S: S(0.38%).

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της και κυρίως στις εσοχές, από χρώμα (αφράτο) με εγκλείσματα. Όπου δεν υπάρχει χρώμα ένα μαύρο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου (οξειδία του Ag). Από το SEM βλέπουμε μια υψηλή περιεκτικότητα σε χλώριο σε περιοχή με τέτοιο στρώμα (AgCl). Στα ανώτερα σημεία έχει αποκαλυφθεί ο μεταλλικός πυρήνας (το SEM εδώ δίνει υψηλότερη περιεκτικότητα σε άργυρο).



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των στρωμάτων χρώματος και χλωριούχου αργύρου (AgCl) και η διατήρηση της πατίνας.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, κάτω αριστερά, στα πόδια της γλαύκας	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 5 mm, wet, (0,35 J/cm ²).	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά).
1β, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 2 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Απομακρύνθηκαν κρούστες χλωριούχων προϊόντων του αργύρου σε δύο περιοχές (όπως όταν τις απομακρύνουμε μηχανικά). Η επιφάνεια από κάτω φαίνεται λίγο θαμπή και διατηρεί ένα γκρι στρώμα. Τα χρώματα δεν επηρέαστηκαν καθόλου.
1γ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 4 επαναλήψεις και 1 επανάληψη επιλεκτικά	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Απομακρύνθηκαν ακόμη περισσότερες κρούστες χλωριούχων προϊόντων του αργύρου - σε κάποιες περιοχές εντελώς. Οι επικαθίσεις χρώματος απομακρύνθηκαν και σε μία περιοχή φτάσαμε στην αρχική επιφάνεια η οποία κρατάει το θειούχο.
1δ, στην ίδια περιοχή, στις εσοχές που έχουν	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 1 επανάληψη	Αποδεκτό	Η διαδικασία προχωράει καλά, απομακρύνθηκαν στα σημεία αυτά οι κρούστες χλωριούχων προϊόντων και οι επικαθίσεις χρώματος, αλλά σε ένα σημείο που

επικαθίσεις χρώματος και κρούστες χλωριούχου	επιλεκτικά (κρούστες χλωριούχου) και με 2 mm wet, (2,1 J/cm ²) στις επικαθίσεις χρώματος		η επιφάνεια είχε αποκαλυφθεί και διατηρούσε τον θειούχο άργυρο, επηρεάστηκε και φαίνεται σαν μετά από χημικό καθαρισμό.
1ε, στην ίδια περιοχή, στις εσοχές που έχουν επικαθίσεις χρώματος	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), 1 επανάληψη επιλεκτικά στις επικαθίσεις χρώματος	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν ικανοποιητικά οι επικαθίσεις χρώματος, αφήνοντας πολύ καλή επιφάνεια. Παραμένουν επικαθίσεις στις εσοχές.
1στ, στην ίδια περιοχή στο φτερό, στις εσοχές που έχουν επικαθίσεις χρώματος και κρούστες χλωριούχου	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 3 επαναλήψεις επιλεκτικά	Αποδεκτό	Η διαδικασία προχωράει καλά, απομακρύνθηκαν στο σημείο αυτό οι επικαθίσεις χρώματος και οι κρούστες χλωριούχων προϊόντων, αλλά σε ένα σημείο κοντά στην περιφέρεια η επιφάνεια έχει επηρεαστεί λίγο παραπάνω και φαίνεται σαν μετά από χημικό καθαρισμό.
1ζ, στην ίδια περιοχή στο στικτό φτερό, (επικαθίσεις χρώματος)	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 8 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Στις 3 επαναλήψεις απομακρύνθηκαν οι επικαθίσεις χρώματος και άρχισε να ξεχωρίζει η στικτή διακόσμηση, και στις επόμενες 5 επαναλήψεις φαίνεται να έχει ανασηκωθεί το υποκείμενο στρώμα του χλωριούχου μαζί με τις επικαθίσεις χρώματος.
1η, σε όλη την περιοχή, (επικαθίσεις χρώματος και στρώμα AgCl)	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²) και 2mm wet, (2,1 J/cm ²) σε συνδυασμό επιλεκτικά σε κρούστα μαύρη και χρώματα	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν πολύ εύκολα τα χρώματα με 2 mm ακόμη και από τις εσοχές και το στρώμα AgCl, αφήνοντας ένα στρώμα Ag ₂ S όπου υπάρχει. Η περιοχή έχει καθαριστεί σχεδόν όλη εκτός από κάποιες εσοχές. Το στρώμα AgCl έχει ανασηκωθεί σε κάποια σημεία και με βελόνα μπορεί εύκολα να απομακρυνθεί.
2α, στη περιοχή «ΑΘΕ», (επικαθίσεις χρώματος)	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 814 V) 4,5 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x: 300,03st/s Speed y: 15,26 st/s, Spot size: 0,046 cm ² , wet,	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν κάποιες επικαθίσεις χρώματος. Η επιφάνεια του αργύρου παραμένει γυαλιστερή.

	Απόσταση φακού αντικειμένου 12,5 cm (0,1 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 2 σαρώσεις.		
2b, στη περιοχή «Ε», (επικαθήσεις χώματος)	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 867 V) 9,11 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x: 300,03st/s Speed y: 15,26 st/s, Spot size: 0,046 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 12,5 cm (0,2 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.	«Αποδεκτό», έως ένα σημείο	Έλεγχος στη 1 και ακολούθως στις 2 σαρώσεις (συν. 5): Απομακρύνθηκαν περισσότερο οι επικαθήσεις χώματος, οι οποίες έχουν χάσει τη συνεκτικότητά τους με το υποκείμενο στρώμα (με βελόνα μπορεί εύκολα να απομακρυνθούν). Η επιφάνεια του αργύρου παραμένει γυαλιστερή. Έλεγχος στις 2 σαρώσεις (συν. 7): Το ίδιο με πριν – έχουν απομακρυνθεί περισσότερα προϊόντα, αλλά στην επιφάνεια των χωμάτων – προϊόντων εντοπίζεται θερμικό ? αποτέλεσμα και τα προϊόντα εμφανίζονται πιο σκούρα γυαλιστερά με σταγόνες. Έλεγχος στις 2 σαρώσεις (συν. 9): Το ίδιο με πριν – έχουν απομακρυνθεί περισσότερα προϊόντα, αλλά στην επιφάνεια των χωμάτων – προϊόντων εντοπίζεται θερμικό ? αποτέλεσμα και τα προϊόντα εμφανίζονται ακόμη πιο σκούρα γυαλιστερά με σταγόνες. Η επιφάνεια έχει γίνει λίγο ματ.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της και κυρίως στις εσοχές, από χόμα (αφράτο) με εγκλείσματα. Όπου δεν υπάρχει χόμα ένα μαύρο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου (οξειδία του Ag). Από το SEM βλέπουμε μια υψηλή περιεκτικότητα σε χλώριο σε περιοχή με τέτοιο στρώμα (AgCl). Στα ανώτερα σημεία έχει αποκαλυφθεί ο μεταλλικός πυρήνας (το SEM εδώ δίνει υψηλότερη περιεκτικότητα σε άργυρο). Κοντά στην περιφέρεια πίσω από το κεφάλι εμφανίζονται προϊόντα σιδήρου στο στρώμα του χώματος.

Παρατηρήσεις:

Το NdYAG 1064nm, LQS δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Φαίνεται ότι ο καθαρισμός με Laser των επικαθίσεων χρώματος είναι συνάρτηση της συνοχής τους με το υποκείμενο στρώμα ή επιφάνεια καθώς επίσης και του αριθμού των επαναλήψεων και της διαμετρου της δέσμης.

Με το NdYAG 1064nm, LQS, απομακρύνεται επίσης πολύ καλά το στρώμα χλωριούχου αργύρου (AgCl) αφήνοντας ανέπαφο το υποκείμενο στρώμα θειούχου αργύρου (Ag₂S) όπου αυτό υπάρχει.

Η επιφάνεια που αποκαλύπτεται με την επανάληψη του καθαρισμού με τη χρήση Laser είναι ματ, ενώ παραμένουν κάποια προϊόντα χλωριούχου προϊόντος, αλλά και επικαθίσεων χρώματος, όμως μπορεί κανείς να συνεχίσει με άλλη μέθοδο καθαρισμού.

Εξάλλου ούτε με μηχανικό καθαρισμό θα μπορούσαμε να αποκαλύψουμε την αρχική επιφάνεια, χωρίς κάποιες εγχαράξεις (μικροσκοπικά), αλλά και με το χημικό καθαρισμό δημιουργείται ματ επιφάνεια ή και αναγωγή των προϊόντων διάβρωσης, πάνω από την αρχική επιφάνεια, καλύπτοντας τις λεπτομέρειες.

Κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό και η κάλυψη των περιοχών που έχει αποκαλυφθεί η μεταλλική επιφάνεια, προκειμένου να μην επηρεαστούν οι περιοχές αυτές από περαιτέρω επίδραση παλμών

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 05

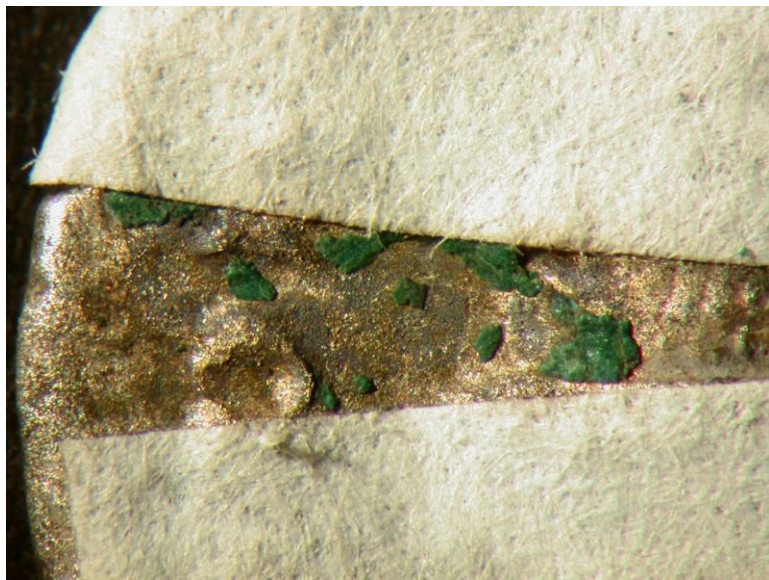
5. Αντωνιανός, Γορδιανός Γ', 238-244 μ.Χ., Π.Κ. αύξ. αρ. 44. Β: 3,590 γρ. Α.Σ., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. III: *Pertinax to Aemilian*, Oxford 1977, σ. 198, αρ. 55.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Ag (24.22%), Cu (47.30%), Pb (1.44%)

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες η επιφάνεια είναι λεία κατά τόπους.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος από πράσινες κρούστες μαζί με εύθρυπτα προϊόντα (χλωριούχα και προϊόντα μολύβδου;) καθώς και επικαθίσεις χώματος, (αργιλοπυριτικά όπως δείχνει και η ανάλυση του SEM). Στην περιοχή γύρω από τη μύτη εντοπίζεται αζουρίτης. Στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται πράσινα προϊόντα, η επιφάνεια καλύπτεται από σχετικά λεπτό γκρι – μαύρο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης και των επικαθίσεων χώματος.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, κέντρο αριστερά, η περιοχή ανάμεσα στην κεφαλή και στα γράμματα «GORD».	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά στα προϊόντα και επικαθίσεις χρώματος	Αποδεκτό	Απομάκρυνση από την επιφάνεια των πράσινων προϊόντων και των επικαθίσεων. Η επιφάνεια του κράματος αργύρου εμφανίζεται ανέπαφη – φαίνεται στο μικροσκόπιο πως πρόκειται για κράμα με χαλκό. (1shot, αρχικά για έλεγχο).
1β, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55J/cm ²), εναλλακτικά με την παραπάνω διαδικασία καθαρισμού	Αποδεκτό	Επηρεάζει λιγότερο τις κρούστες και την επιφάνεια, στα σημεία που θέλουμε να έχουμε πιο ύπια αποτελέσματα.
1γ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά και με κάλυψη των γραμμάτων	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκαν κάποια προϊόντα κατά τόπους, αλλά ανάμεσα στα γράμματα και στο κεφάλι.
1δ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά και με κάλυψη των γραμμάτων ή αναγλύφων, 4 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Έλεγχος στις 2: Η διαδικασία προχωράει καλά, αλλά παραμένουν κάποιες κρούστες. Η επιφάνεια που έχει ήδη αποκαλυφθεί εμφανίζεται λίγο πορώδης (όπως και μετά από ηχητικό καθαρισμό). Έλεγχος στις 4: Προχωρά η διαδικασία, αλλά κάποια προϊόντα επιμένουν.
1ε, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά και με κάλυψη των γραμμάτων ή αναγλύφων, 4 επαναλήψεις και σε ορισμένα σημεία (ανάμεσα και κεφαλή) 5 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Προχωρά πολύ καλά η διαδικασία, αλλά κάποια προϊόντα επιμένουν. (SEM: Στην ευθεία λίγο διαγώνιο προς τις μύτες της κορώνας κάτω από το γράμμα «G», για θερμικό αποτέλεσμα, στην 5 επανάληψη)
1στ,	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά ανάμεσα στο γράμμα «R» και και την εσοχή της κεφαλής με κάλυψη της γύρω περιοχής, 7	Μή αποδεκτό	Έλεγχος περίπου ανά 3 επαναλήψεις. Κοντά στο γράμμα «R» προχωρά καλά η διαδικασία, αλλά κάποια προϊόντα επιμένουν. Στην κεφαλή στην 5η επανάληψη εμφανίστηκε μία σταγόνα μαύρου χρώματος, υποψία θερμικού

	επαναλήψεις κοντά στο γράμμα και 11 επαναλήψεις στην κεφαλή		αποτελέσματος. Επίσης τα πράσινα προϊόντα εμφανίζουν μία μαύρη απόχρωση στην περιφέρειά τους. Στον τελικό έλεγχο (7 επαναλήψεις κοντά στο γράμμα και 11 επαναλήψεις στην κεφαλή) σε όλη την επιφάνεια εντοπίζονται σταγόνες και η γύρω επιφάνεια έχει μαυρίσει.
2, στο λαϊμό δεξιά, περιοχή 0,5cm x 0,2cm	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 750 V) 0,25 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5 Hz, Spot size: 0,029 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (0,86 J/cm ²) καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό-Υπιο	Απομακρύνονται τα μαύρα προϊόντα από την επιφάνεια του αργύρου, αλλά τα πράσινα προϊόντα παραμένουν και επιφανειακά γίνονται σκουρόχρωμα.
3, στο λαϊμό δεξιά του καθαρισμού 2, περιοχή 0,25cm x 0,2cm	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 850 V) 5,22 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,555 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (0,94 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Μη αποδεκτό	Όπου απομακρύνονται τα προϊόντα από την επιφάνεια εμφανίζονται κρύσταλλοι αργύρου – θερμικό αποτέλεσμα. Τα πράσινα προϊόντα τα οποία παραμένουν εμφανίζονται σκουρόχρωμα - μαύρα.
4, ανάμεσα στο σβέρκο και τα γράμματα, 1spot.	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 1000 V) 210,9 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,42 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου	Μη αποδεκτό	Τα πράσινα προϊόντα απομακρύνονται σε μεγάλο βαθμό, αλλά παραμένουν κυρίως στις εσοχές. Στις περιοχές που έχουν απομακρυνθεί τα προϊόντα η επιφάνεια εμφανίζεται με κοιλότητες εξαιτίας της εκλεκτικής διάβρωσης, αλλά και με κρυστάλλους αργύρου – θερμικό αποτέλεσμα.

	88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm ($0,5 \text{ J/cm}^2$), 10 επαναλήψεις, see EMP C14		
6α, πάνω κέντρο, γράμματα μετά το D και πριν το S, δεξιά του καθαρισμού 1.	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 876 V) 10,56 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:0 st/s, Spot size: 0,105 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 58 cm ($0,1 \text{ J/cm}^2$), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έλεγχος σε 3 σαρώσεις: Ελάχιστη απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων και των επικαθίσεων χόματος. Η επιφάνεια που αποκαλύπτεται φαίνεται σχετικά γυαλιστερή.
6β, πάνω κέντρο, γράμματα μετά το D και πριν το S, δεξιά του καθαρισμού 1.	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 927 V) 21,18 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:0 st/s, Spot size: 0,105 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 58 cm ($0,2 \text{ J/cm}^2$), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έλεγχος σε 2 σαρώσεις: Σχετική απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων και των επικαθίσεων χόματος. Η επιφάνεια του αργύρου που έχει αποκαλύπτεται φαίνεται να έχει γυαλιστερά σταγονίδια - θερμικό αποτέλεσμα

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες η επιφάνεια είναι λεία κατά τόπους. Κυρίως, στις περιοχές όπου εντοπίζονται οι κρούστες, εντοπίζονται πάνω από αυτές επικαθίσεις χόματος, (αργιλοπυριτικά όπως δείχνει και η ανάλυση του SEM).

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος από πράσινες κρούστες μαζί με εύθρυπτα προϊόντα (χλωριούχα και προϊόντα μολύβδου;). Δεξιά και κάτω της ορθίας μορφής εντοπίζεται αζουρίτης. Στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται πράσινα προϊόντα, η επιφάνεια καλύπτεται από γκρι – καφέ στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
5a, κάτω δεξιά, οριζόντια λωρίδα που περνά την περιοχή του XRF.	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 790 V) 13,6 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:0 st/s, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,28 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Αποδεκτό	Έλεγχος στη 1 σάρωση: Παραμένουν τα πράσινα προϊόντα και οι επικαθίσεις χρώματος. Η επιφάνεια του κράματος αργύρου εμφανίζεται, μάλλον ανέπαφη, σε δύο σημεία της περιοχής σάρωσης. Έλεγχος στις 2 επόμενες σαρώσεις: Απομακρύνθηκαν οι επικαθίσεις χρώματος και κάανιχτόχρωμα πράσινα προϊόντα. Εμφανίστηκε σκούρο πράσινο στρώμα - πρόκειται για καμμένο προϊόν. Η επιφάνεια του κράματος αργύρου εμφανίζεται, μάλλον πιο ματ-πορώδης. Τα προϊόντα αργύρου που καλύπτουν κάποια σημεία σιγά σιγά απομακρύνονται. Έλεγχος στη 1 σάρωση: Εμφανίστηκε σκούρο πράσινο στρώμα - πρόκειται για καμμένο προϊόν, από κάτω είναι πράσινο. Η επιφάνεια του κράματος αργύρου εμφανίζεται, μάλλον πιο ματ-πορώδης. Έλεγχος σε 2 σαρώσεις: Καμία σχεδόν επίδραση στα προϊόντα
5b,	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 800 V) 16,6 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,344 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 200 shot	Καμία επίδραση	
5c	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 900 V) 58,9 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (1,2 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό	Μη αποδεκτό	Απομάκρυνση προϊόντων, θερμικό αποτέλεσμα με μορφή σταγόνων αργύρου

	μικρομηχανικής, 20 shot		
5δ	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 836 V) 29,7 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,61 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 40 shot	Μη αποδεκτό	Έλεγχος στα 20 shot: Δεν είναι δυνατό να δούμε τον άργυρο είναι πολύ μικρό το σημείο. Έλεγχος στα 20 shot: Απομάκρυνση προϊόντων, θερμικό αποτέλεσμα με μορφή πολύ μικρών σταγόνων αργύρου.

Παρατηρήσεις:

Το NdYAG 1064nm, LQS δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο στα αρχικά στάδια. Στα σημεία που παραμένουν τα προϊόντα προχωρά πολύ αργά και με θερμικά αποτελέσματα, τα οποία δεν είναι συνάρτηση του αριθμού των βολών. Είναι η πρώτη περίπτωση που παρατηρούνται θερμικά αποτελέσματα σε αργυρό νόμισμα με LQS και ίσως οφείλονται στην περιεκτικότητα του κράματος σε μόλυβδο.

Κατά τον καθαρισμό κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 06

6. Αργυρός στατήρας, Κόρινθος, α΄ μισό 4^{ου} αιώνα π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 127. Β: 8,444 γρ.

O.E. Ravel, *Les «Poulains» de Corinthe*, vol. II, London 1948, αρ. 1017.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Ag (68.73%), Cu (2.06%), Pb (1.66%), Sn (13.11%) SEM, σε σημείο της επιφάνειας χωρίς χρώματα, με πολύ λεπτό στρώμα πατίνας. Από τα αποτελέσματα του SEM στο συγκεκριμένο σημείο, φαίνεται ότι υπάρχει AgCl: Cl (3.50%) και ίσως Ag₂S: S(1.06%).

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία, αλλά στα σημεία πόπου έχει εμφανιστεί πυρήνας εμφανίζεται σαγρέ.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από κόκκινο-πορτοκαλί-καφέ στρώμα προϊόντων διάβρωσης του σιδήρου (από το SEM βλέπουμε μια υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο σε αυτές τις περιοχές). Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια καλύπτεται από ένα λεπτό γκρι – μαύρο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου, το οποίο σε τρεις περιοχές έχει απομακρυνθεί και εμφανίζεται ο πυρήνας. Κοντά στην περιφέρεια κάτω από τον Πήγασο και πάνω στο γκρι – μαύρο στρώμα εμφανίζεται στρώμα χλωριούχου αργύρου.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των στρωμάτων προϊόντων διάβρωσης του αργύρου (AgCl) και η διατήρηση της πατίνας.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, πάνω δεξιά	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 3 επαναλήψεις.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Κατά τόπους απομακρύνθηκαν κρούστες προϊόντων του σιδήρου.
1β, στην ίδια περιοχή, στις εσοχές που έχουν επικαθίσεις	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 3 mm, wet, (0,95 J/cm ²), 8 επαναλήψεις επιλεκτικά. Στην ουσία έχει γίνει όλη η επιφάνεια.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Απομακρύνθηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό κρούστες προϊόντων του σιδήρου. Η επιφάνεια φαίνεται λίγο θαμπή και διατηρεί ένα γκρι στρώμα κατά τόπους και μοιάζει λίγο με το αποτέλεσμα που έχει στην επιφάνεια η εφαρμογή θειοθειικού αμμώνιου. Σημειακά άσπριζαν λίγο τα κυκλάκια της δέσμης κατά τη βολή, αλλά μετά αυτή η διαφορά δεν φαίνεται.
1γ, στην ίδια περιοχή, στις εσοχές που έχουν επικαθίσεις	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 3 mm, wet, (0,95 J/cm ²), 3 επαναλήψεις επιλεκτικά.	Αποδεκτό	Η διαδικασία προχωράει καλά, αλλά θέλει κι άλλο για να απομακρυνθεί το στρώμα προϊόντων του σιδήρου. Πάνω από το φτερό παρατηρείται στρώμα αναγωγής το οποίο εμφανίζεται όλο και περισσότερο από την πρώτη επέμβαση (1α)
1δ, στην ίδια περιοχή, όπου επιμένουν οι επικαθίσεις (ανάμεσα στα φτερά)	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), 3 επαναλήψεις επιλεκτικά.	Αποδεκτό ; ;	Οι περιοχές αυτές έχουν υποστεί συνολικά 17 επαναλήψεις. Η επιφάνεια μοιάζει με το αποτέλεσμα που έχει η εφαρμογή θειοθειικού αμμώνιου. Κρίνουμε ότι πρέπει να σταματήσουμε παρόλο που παραμένουν προϊόντα σιδήρου στην επιφάνεια.
2α, πάνω αριστερά	NdYAG 1064nm, Free: 100mJ, 1Hz, 2mm, wet, (3,2 J/cm ²), 2 επαναλήψεις.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Απομακρύνθηκε ο θειούχος άργυρος από

			τα ανώτερα σημεία της επιφάνειας, ενώ οι κρούστες των προϊόντων του σιδήρου κατέβηκαν λίγο και άλλαξαν χρώμα (έγιναν πιο ανοιχτόχρωμες).
2β, στην ίδια περιοχή, όπου επιμένουν οι επικαθίσεις του σιδήρου	NdYAG 1064nm, Free: 100mJ, 1Hz, 2mm, wet, 3,2 J/cm ² , 6 επαναλήψεις.	Αποδεκτό;	Σε μεγάλο βαθμό απομακρύνθηκαν κρούστες προϊόντων του σιδήρου, οι οποίες έχουν μεγαλύτερο πάχος από αυτές του καθαρισμού με το LQS. Εμφάνιση μαύρου μεταλλικού στρώματος πάνω στις κρούστες του σιδήρου και σε κάθε περίπτωση πάνω από την αρχική επιφάνεια.
2γ, στην ίδια περιοχή, σε τρία σημεία όπου επιμένουν οι επικαθίσεις του σιδήρου	NdYAG 1064nm, Free: 100mJ, 1Hz, 2mm, wet, 3,2 J/cm ² , 3 επαναλήψεις.	Μη αποδεκτό	Σε μεγάλο βαθμό μειώθηκαν οι κρούστες προϊόντων του σιδήρου, αλλά εκεί όπου παρατηρήθηκε το μαύρο μεταλλικό στρώμα εμφανίστηκαν σταγονίδια μαύρου χρώματος (είναι σίδηρος; ή άργυρος;)
3, στην κοιλιά πίσω από τα φτερά, περιοχή 0,25cm x0,3cm	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 850 V) 5,22 mJ, Speed x:7,5 st/s Speed y:250 st/s Repetition rate:2,5 Hz, Spot size: 0,555(;) mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (0,94 J/cm ²)(;), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Μη αποδεκτό	Τα προϊόντα απομακρύνθηκαν από τις επίπεδες περιοχές και λιγότερο από τις καμπύλες περιοχές, αλλά όλη η επιφάνεια παρουσιάζει μικρά σφαιρίδια μετάλλου-θερμικό αποτέλεσμα.
4, κάτω αριστερά, οριζόντια λωρίδα που περνά πάνω από την περιοχή του XRF.	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 790 V) 13,6 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s	Αποδεκτό	Έλεγχος στη 1 σάρωση: Παραμένουν προϊόντα και επικαθίσεις σιδήρου. Η επιφάνεια δεν θεωρείται ανέπαφη, εντοπίζονται κρύσταλλοι αργύρου, όπως και στους άλλους

	<p>Speed y:0 st/s,</p> <p>Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,28 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής</p>		<p>καθαρισμούς όμως...</p> <p>Έλεγχος σε άλλη 1 σάρωση:</p> <p>Παραμένουν επικαθίσεις σιδήρου. Η επιφάνεια δεν θεωρείται ανέπαφη, εντοπίζονται κρύσταλλοι αργύρου και έχουν απομακρυνθεί κάποια προϊόντα αργύρου από την επιφάνεια. Στο πεδίο κοντά στην περιφέρεια η επιφάνεια φαίνεται κιτρινωπή.. αλλά μπορεί να είναι επιμετάλλωση, η οποία αποκαλύφθηκε κατά τον καθαρισμό – με ακετόνη αφαιρέθηκε λίγο...</p> <p>Έλεγχος σε άλλες 3 σαρώσεις και σε κάθε μία..:</p> <p>Δεν μπορούν να απομακρυνθούν οι επικαθίσεις από τις εσοχές.</p>
<p>5, στη περιοχή του αριστερού μπροστινού ποδιού και του συμβόλου ανάμεσα στα πόδια</p>	<p>NdYAG 355 nm,</p> <p>(Τάση τροφοδοτικού για το laser: 867 V)</p> <p>9,11 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz,</p> <p>Speed x: 300,03st/s</p> <p>Speed y: 15,26 st/s,</p> <p>Spot size: 0,046 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 12,5 cm (0,2 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 2 σαρώσεις.</p>	<p>«Αποδεκτό»</p>	<p>Απομακρύνθηκαν σε μεγάλο βαθμό οι επικαθίσεις σιδήρου. Η επιφάνεια δεν θεωρείται ανέπαφη, εντοπίζονται κρύσταλλοι αργύρου, όμως η μορφή της διάβρωσης είναι περίεργη σε αυτή την περιοχή..</p> <p>Η επιφάνεια έχει γίνει λίγο ματ.</p>

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται από ένα λεπτό γκρι – μαύρο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου με ιριδισμούς. Σε κάποιες εσοχές εντοπίζεται πορτοκαλί προϊόν.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
6, στο πεδίο πάνω από το κράνος	NdYAG 355 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 814 V) 4,5 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x: 300,03st/s Speed y: 15,26 st/s, Spot size: 0,046 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 12,5 cm (0,1 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 1 σάρωση.	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκε το στρώμα του θειούχου χωρίς να απομακρυνθεί το στρώμα του χλωριούχου. Η επιφάνεια του αργύρου παραμένει σχετικά γυαλιστερή.

Παρατηρήσεις:

Το NdYAG 1064nm, LQS δίνει σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο καθαρισμός των επικαθίσεων του σιδήρου με Laser μοιάζει με το μηχανικό καθαρισμό, όπου οι κρούστες απομακρύνονται με «τίναγμα». Η επιφάνεια από την επανάληψη του καθαρισμού με τη χρήση Laser είναι ματ σαν να μην είναι μεταλλική. Παρόλα αυτά το αποτέλεσμα αυτό το δίνει και ο χημικός καθαρισμός για την απομάκρυνση των συγκεκριμένων προϊόντων, (ίσως πιο έντονα το θειοθειικό αμμώνιο).

Με το NdYAG 355 nm, μπορούμε να απομακρύνουμε το στρώμα του θειούχου, αλλά για να απομακρυνθεί το στρώμα του χλωριούχου μπορεί να επηρεαστεί η επιφάνεια.

Δεν είναι απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 10

10. Αργυρό τετράδραχμο Αθηνών, 390-295 π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 35. Β: 17,264 γρ.

Sylloge Nummorum Graecorum, Deutschland, Staatliche Münzsammlung München, Heft 14:Attika, Megaris, Ägina, München 2002, αρ. 90-98.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Ag (72.13%), [Cu (0.16%), Sn(0.57%), Pb (0.36%)], SEM, σε επιφάνεια με προϊόντα διάβρωσης.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια δεν είναι λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται από παχύ στρώμα χλωριούχου αργύρου. Στις περιοχές κοντά στις εσοχές εντοπίζεται εντονότερη διάβρωση με εξογκώματα χλωριούχου αργύρου. Πάνω από το στρώμα του χλωριούχου αργύρου εντοπίζονται κατά τόπους στίγματα μαύρου προϊόντος σαν να είναι από μέταλλο;, αναγωγή; (σαν black spots στο χαλκο).



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση του στρώματος AgCl, η διατήρηση της αρχικής επιφάνειας και η αποκάλυψη των λεπτομερειών της παράστασης.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, κάτω δεξιά	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 3 επαναλήψεις	Αποδεκτό...	<p>Στόχος είναι η αφαίρεση του στρώματος AgCl.</p> <p>Η επιφάνεια των προϊόντων διάβρωσης κοκκίνησε⁵ και σε ένα σημείο εμφανίστηκαν μικροί κόκκοι (διάλυση υλικού ή θερμικό αποτέλεσμα). Οριακά εντοπίζεται απομάκρυνση των προϊόντων. Σε κάθε περίπτωση είμαστε πάνω από την αρχική επιφάνεια.</p> <p>5Μετά από μία ώρα η επιφάνεια παρέμενε κοκκινωπή, αλλά αρκετά πιο σκούρα!!! Μετά από 21 ώρες παραμένουν οι κόκκοι αλλά έχει αλλάξει το χρώμα!!!! Η επιφάνεια δεν είναι κόκκινη και χρωματικά δεν έχει καμία διαφορά με τη δίπλα περιοχή.</p>
1β, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 5 επαναλήψεις	Σχεδόν χωρίς αποτέλεσμα	<p>Η επιφάνεια δεν κοκκίνησε όπως στο προηγούμενο βήμα και συνεχίζουν να υπάρχουν οι μικροί κόκκοι (διάλυση υλικού ή θερμικό αποτέλεσμα). Οριακά εντοπίζεται απομάκρυνση των προϊόντων. Σε κάθε περίπτωση είμαστε πάνω από την αρχική επιφάνεια.</p>
1γ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1J/cm ²)	Αποδεκτό	<p>Η επιφάνεια έχει κοκκινίσει κατά τόπους. Το στρώμα του AgCl αρχίζει να κατεβαίνει αισθητά. Σ' ένα σημείο μέσα στο λαϊμό, φαίνεται σαν να έχει απομακρυνθεί εντελώς το στρώμα AgCl και φαίνεται η μεταλλική επιφάνεια, λίγο πορώδης... ← Όπως διαπιστώσαμε αργότερα είμασταν ακόμη πάνω στο στρώμα του χλωριούχου.</p>
1δ, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά σε σημεία	Αποδεκτό	<p>Η επιφάνεια έχει κοκκινίσει κατά τόπους. Το στρώμα του AgCl συνεχίζει να κατεβαίνει στα σημεία αυτά.</p>
1ε, στην ίδια περιοχή	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 4 επαναλήψεις	Αποδεκτό	<p>Δεν αλλάζει κάτι. Στα σημεία που το στρώμα του AgCl έχει «βληθεί» είναι πιο μαλακό.</p> <p>Επιμένουν κάποια εξογκώματα και αποφασίσαμε να τα κατεβάσουμε με βελόνα. Τη χρησιμοποιήσαμε σε δύο περιοχές, πιο πολύ για έλεγχο. Ανασηκώθηκε πολύ εύκολα το στρώμα του AgCl και από κάτω του</p>

			φάνηκε η μεταλλική επιφάνεια.
Ιστ, στο πηγούνι	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (1 J/cm ²), 1 spot	Χωρίς αποτέλεσμα	Δε φαίνεται καμία επίδραση στην επιφάνεια.
Ιζ, στο πηγούνι αριστερά από το προηγούμενο spot	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²), 1 spot	Άποδεκτό-ελεγχόμενο	Τα προϊόντα διάβρωσης απομακρύνθηκαν κάπως, η επιφάνεια των προϊόντων διάβρωσης είναι κοκκώδης και κόκκινη.
Ι η, σε όλη την επιφάνεια εκτός από όπου έχει αποκαλυφθεί η μεταλλική επιφάνεια	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²), επιλεκτικά	Άποδεκτό-ελεγχόμενο	Τα προϊόντα διάβρωσης απομακρύνονται αισθητά, η επιφάνεια των προϊόντων διάβρωσης είναι κοκκώδης και κόκκινη. Ένα spot που έφτασε στην αποκαλυμμένη περιοχή (με τη βελόνα) δεν την επηρέασε καθόλου.
Ι θ, σε όλη την επιφάνεια εκτός από την περιοχή όπου έχει αποκαλυφθεί η μεταλλική επιφάνεια	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²), επιλεκτικά	Άποδεκτό-ελεγχόμενο	Τα προϊόντα διάβρωσης απομακρύνονται αισθητά, η επιφάνεια των προϊόντων διάβρωσης είναι κοκκώδης και κόκκινη. Στο σημείο που εντοπίζεται η αποκαλυμμένη περιοχή (αρχική επιφάνεια) φαίνεται το στρώμα του χλωριούχου να βρίσκεται στο αέρα (να μην εδράζεται πάνω στον άργυρο όπως συνήθως παρατηρούμε).
Ιι, σε όλη την επιφάνεια εκτός από την περιοχή όπου έχει αποκαλυφθεί η μεταλλική επιφάνεια	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²), επιλεκτικά, 3 επαναλήψεις	Άποδεκτό	Τα προϊόντα διάβρωσης απομακρύνονται αισθητά. Η επιφάνεια των προϊόντων διάβρωσης είναι, επίσης, κοκκώδης και κόκκινη. Μετά από συνολικά 5 επαναλήψεις με 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm το πεδίο κοντά στην περιφέρεια εντοπίζεται στρώμα χλωριούχου που έχει επίσης σικωθεί στο αέρα και εμφανίζεται από κάτω η αρχική επιφάνεια. Εικ. . .
Ικ, στο πηγούνι	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²)	Άποδεκτό	Παρατηρήθηκε το ίδιο και στο πηγούνι. Ακουλούθησε απομάκρυνση του στρώματος του χλωριούχου του πεδίου μηχανικά με βελόνα.
Ικα, στο λαϊμό	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²), 2 επαναλήψεις	Άποδεκτό	Παρατηρήθηκε το ίδιο και στο λαϊμό. Ακουλούθησε απομάκρυνση του στρώματος του χλωριούχου στα σημεία που επίσης φαινόταν ότι ήταν στο αέρα μηχανικά με βελόνα.
Ικβ, στο λαϊμό και στο πηγούνι,	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή,	Άποδεκτό	Παρατηρήθηκε το ίδιο και στα σημεία αυτά. Ακουλούθησε απομάκρυνση του στρώματος του

επιλεκτικά	1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²), επιλεκτικά, 3 επαναλήψεις		χλωριούχου στα σημεία αυτά, οπότε και αποκαλύφθηκε η αρχική επιφάνεια σε όλη την περιοχή που επιλέχθηκε να γίνει καθαρισμός με το 1064nm, LQS.
2, αριστερά στο κράνος, περιοχή 0,5 cm ²	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 900 V) 7,73 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5 Hz, Spot size: 0,466 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (1,66 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 4 σαρώσεις.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια των προϊόντων διάβρωσης έχει κοκκίνησει*. Επιφανειακά σχηματίζονται κόκκοι σφαιριδίων (θερμικό αποτέλεσμα), αλλά από κάτω παραμένει AgCl. Το στρώμα του AgCl αρχίζει να κατεβαίνει αισθητά. Σ' ένα σημείο, φαίνεται σαν να έχει απομακρυνθεί εντελώς το στρώμα AgCl και φαίνεται η μεταλλική επιφάνεια, λίγο πορώδης... Από το σημείο αυτό η απομάκρυνση του στρώματος του χλωριούχου, θα πρέπει να γίνει επιλεκτικά, αλλά με το συγκεκριμένο σταθμό μικρομηχανικής δεν έχουμε αυτή τη δυνατότητα.

Παρατηρήσεις:

Το NdYAG 1064nm, LQS δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στα 250mJ, με εξασθενητή και spot size 2 mm. Φαίνεται ότι στις συνθήκες αυτές μειώνεται η συνοχή του στρώματος του χλωριούχου αργύρου με το υποκείμενο στρώμα ή επιφάνεια και τότε το στρώμα του χλωριούχου μπορεί να απομακρυνθεί μηχανικά. Ίσως, όμως, να είναι απαραίτητο να προηγηθεί καθαρισμός στα 130mJ, με εξασθενητή και spot size 2-4 mm για να «κατέβει» λίγο το στρώμα του χλωριούχου αργύρου και να «μαλακώσει». Η επιφάνεια, η οποία αποκαλύπτεται, διατηρεί όλες της λεπτομέρειες της παράστασης, όμως, μάλλον καλύπτεται από στρώμα θειούχων προϊόντων διάβρωσης; Θεωρούμε το αποτέλεσμα ακόμη και σε αυτή την περίπτωση ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Εξάλλου ούτε με μηχανικό καθαρισμό θα μπορούσαμε να αποκαλύψουμε την αρχική επιφάνεια, χωρίς κάποιες εγχαραξίες (μικροσκοπικά), αλλά και με το χημικό καθαρισμό δημιουργείται μια επιφάνεια ή και αναγωγή των προϊόντων διάβρωσης, πάνω από την αρχική επιφάνεια, καλύπτοντας τις λεπτομέρειες. Κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό.

Σημείωση: (1) Μετά την αποκάλυψη της αρχικής επιφάνειας παρατηρείται μία μικρή περιοχή στο πηγούνι, η οποία βρίσκεται κάτω από την αρχική επιφάνεια και ταυτίζεται με την περιοχή, όπου αρχικά παρατηρήθηκε έντονη διάβρωση - «εξόγκωμα» χλωριούχου αργύρου.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 11

11. Χάλκινο νόμισμα, Urbs Roma, 330-337 μ.Χ., νομ. Κύζικος. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. Β: 2,142 γρ.

A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. V: *Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 280, αρ. 16.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu και Pb στην πατίνα και στις κρούστες, XRF.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία, στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες.

Διάβρωση-Επικαθίσεις: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ένα πράσινο στρώμα πατίνας. Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια καλύπτεται από ένα καφέ στρώμα οξειδίων. Κατά τόπους εντοπίζονται εξογκώματα κυπρίτη και κρούστες πράσινου χρώματος μαζί με επικαθίσεις χρώματος.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των επικαθίσεων χρώματος, των πράσινων προϊόντων και μείωση των εξογκωμάτων κυπρίτη και διατήρηση της πατίνας.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, κάτω δεξιά	<p>NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 820 V)</p> <p>100 mJ,</p> <p>Repetition rate:1 Hz,</p> <p>Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm², wet,</p> <p>Speed x:2600 st/s</p> <p>Speed y:3500 st/s,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,34 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.</p>	Αποδεκτό	<p>Έλεγχος μετά από 15 σαρώσεις - “επικάλυψη”: Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση).</p> <p>Έλεγχος μετά από 6 σαρώσεις - “επικάλυψη”: Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση).</p> <p>Έλεγχος μετά από 10 σαρώσεις - “επικάλυψη”: Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση).</p>
1β, στην ίδια περιοχή	<p>NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 820 V)</p> <p>100 mJ,</p> <p>Repetition rate:1 Hz,</p> <p>Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm², wet,</p> <p>Speed x:260 st/s</p> <p>Speed y:350 st/s,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,34 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 10 σαρώσεις - “επικάλυψη”.</p>	Μη αποδεκτό	<p>Αλλαγή του χρώματος των εξογκωμάτων του κυπρίτη, από κόκκινο χρώμα σε καφέ ή κίτρινο.</p> <p>Απομάκρυνση της πράσινης πατίνας, στο μεγαλύτερο μέρος της και αποκάλυψη του υποκείμενου στρώματος του κυπρίτη με ματ μωβ εμφάνιση.</p>
2, πάνω αριστερά	<p>NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 820 V)</p> <p>100 mJ,</p> <p>Repetition rate:1 Hz,</p> <p>Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm², wet,</p>	«Αποδεκτό»	Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση) στο μεγαλύτερο μέρος.

	Speed x:2600 st/s Speed y:3500 st/s, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,34 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 15 σαρώσεις - “επικάλυψη”.		Η επίδραση έγινε για συνδυασμό της μεθόδου με μηχανικό.
--	--	--	--

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία, στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες.

Διάβρωση-Επικαθίσεις: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ένα πράσινο στρώμα πατίνας. Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια καλύπτεται από ένα καφέ στρώμα οξειδίων. Κατά τόπους εντοπίζονται εξογκώματα κυπρίτη και κρούστες πράσινου χρώματος μαζί με επικαθίσεις χρώματος.

Παρατηρήσεις:

Το NdYAG 1064nm, δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε χαμηλή ενέργεια με εξασθενητή και ανοιχτή σχετικά δέσμη απομακρύνει την πατίνα, χωρίς να μπορεί να αφαιρέσει τις πράσινες κρούστες.

Το NdYAG 1064nm, Free δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στις πρώτες εφαρμογές, αλλά όταν θα πρέπει να γίνει επανάληψη της βολής στα σημεία όπου δεν έχουν απομακρυνθεί οι κρούστες ή η βολή θα πρέπει να αφαιρέσει πράσινες κρούστες ανάμεσα σε ανάγλυφα που διατηρούν την πατίνα τους, εντοπίζονται προβλήματα με την απομάκρυνση της πατίνας αλλά και θερμικό αποτέλεσμα.

Το θερμικό αποτέλεσμα επάνω στα γράμματα «CON» εξαιτίας βολής ανάμεσα στα γράμματα, μόνο με 50mJ, 1Hz, (2 mm) με την πρώτη εφαρμογή, δείχνει ότι ενδεχομένως υπάρχει συσχετισμός με τις προηγούμενες βολές στη γύρω περιοχή.

Κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 14

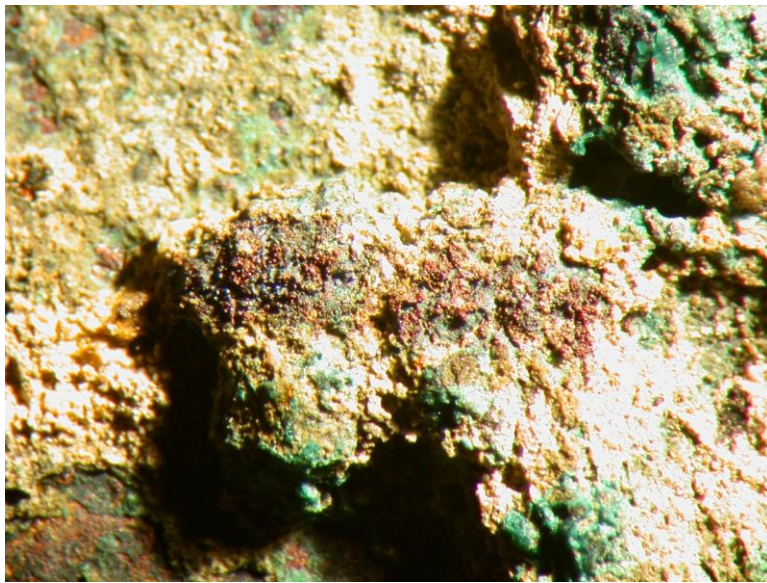
14. Φόλλις, Βυζαντινή αυτοκρατορία, 6^{ος} αι μ.Χ. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. Β: 9,640 γρ.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu. Δεν έχει γίνει ανάλυση της επιφάνειας με SEM.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από επικαθίσεις χρώματος με εγκλείσματα οι οποίες σε κάποιες περιοχές έχουν μεγάλο όγκο.

Διάβρωση: Κάτω από τα χρώματα διατηρείται ένα πράσινο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του χαλκού. Εντοπίζονται ογκώδη πράσινα εξογκώματα. Πρόκειται για εξογκώματα κυπρίτη και κρούστες προϊόντων του χαλκού, πράσινου χρώματος.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση του στρώματος και όγκων χρώματος, η διατήρηση της πατίνας και καθαρισμός των εξογκωμάτων προϊόντων διάβρωσης (εξογκωμάτων κυπρίτη).

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, πάνω αριστερά, στο εξόγκωμα.	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 4 mm, wet, (0,55 J/cm ²), 6 shots.	Καμία επίδραση	Έλεγχος στο 1 shot. Ακολούθησαν 5 shots.
1β, πάνω αριστερά, σε μία μικρή περιοχή χωρίς εξογκώματα κοντά στην περιφέρεια	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), 6 shots.	Αποδεκτό	Έλεγχος στο 1 shot. Ακολούθησαν 5 shots. Απομάκρυνση επικαθίσεων και πράσινων προϊόντων, άρχισε να φαίνεται ο κυπρίτης.

1γ, πάνω αριστερά, σε μία μικρή περιοχή χωρίς εξογκώματα κοντά στην περιφέρεια	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), 5 επαναλήψεις	Αποδεκτό;	Έλεγχος ανά 2 επαναλήψεις: Μερική απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος, πράσινης κρούστας, εμφάνιση μαυροπράσινης πατίνας; και κυπρίτη πιο κάτω.
1δ, στην ίδια περιοχή, στο εξόγκωμα.	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), 20 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Έλεγχος ανά 5 επαναλήψεις: Μερική απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος, πράσινης κρούστας - εμφάνιση κυπρίτη.
1ε, πάνω αριστερά, σε μία μικρή περιοχή χωρίς εξογκώματα κοντά στην περιφέρεια	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), επιλεκτικά, 6 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Έλεγχος ανά 2 επαναλήψεις: Απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος, πράσινης κρούστας - εμφάνιση μαυροπράσινης πατίνας; και κυπρίτη πιο κάτω.
1στ, στην ίδια περιοχή, στο εξόγκωμα, περιμετρικά.	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (2,1 J/cm ²), 10 επαναλήψεις με βολή από το πλάι	Αποδεκτό	Έλεγχος ανά 5 επαναλήψεις: Μερική απομάκρυνση πράσινης κρούστας - εμφάνιση κυπρίτη.
1ζ, στην ίδια περιοχή, στο εξόγκωμα	NdYAG 1064nm, LQS: 250mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 2 mm, wet, (4 J/cm ²), 2 shots, το ένα δίπλα στο άλλο.	Αποδεκτό	Απομάκρυνση πράσινης κρούστας, κυπρίτη και θερμικό αποτέλεσμα.
2α, δεξιά από την περιοχή Νο 1, γύρω από το εξόγκωμα (στο φόντο)	1064, Free: 50 mJ, 1Hz, 2mm wet, (1,6 J/cm ²), 3 επαναλήψεις	Αποδεκτό	Καμία επίδραση. Ίσως έχουν απομακρυνθεί ελάχιστα χρώματα.
2β, στην ίδια περιοχή	1064, Free: 100 mJ, 1Hz, 2mm wet, (3,2 J/cm ²), 3 (1+ 1+ 1) επαναλήψεις σε όλη την περιοχή	Αποδεκτό	Στην πρώτη βολή φαίνεται να φεύγουν λίγο τα χρώματα. Στη δεύτερη ακόμη περισσότερο. Φαίνεται κάπου και κυπρίτης. Δεν υπάρχει χρωματική αλλοίωση. Φαίνονται όμως τα shots και η επιφάνεια δεν είναι ομοιόμορφη. Στην τρίτη βολή φαίνεται ότι απομακρύνονται τα χρώματα μαζί με το υποκείμενο πράσινο στρώμα και δημιουργούνται κοιλότητες όπου φαίνεται το στρώμα κυπρίτη. Γενικά όμως βρισκόμαστε πάνω από την αρχική επιφάνεια.
2γ, στην ίδια περιοχή (στις παρυφές του	1064, Free: 100 mJ, 1Hz, 2mm wet, (3,2 J/cm ²) επιλεκτικά όπου	Αποδεκτό	Έχει υποχωρήσει ο μεγάλος όγκος χρώματος πολύ ικανοποιητικά και έχει διατηρηθεί όπου δεν υπάρχει χρώμα, το πράσινο στρώμα.

εξογκώματος)	υπάρχουν όγκοι χώματος, 40 επαναλήψεις		
2δ, στις παρυφές του εξογκώματος	1064, Free: 150 mJ, 1Hz, 2mm wet, επιλεκτικά όπου υπάρχουν όγκοι χώματος, 13 επαναλήψεις (3+ 5+5)	Αποδεκτό	Στις 3 βολές υποχωρεί ο όγκος χωρίς να χαλάει το υποκείμενο στρώμα. Στις επόμενες 10 βολές το αποτέλεσμα είναι ακόμη ικανοποιητικό. Ο όγκος έχει υποχωρήσει σημαντικά. Επειδή όμως υπάρχουν μέσα στο χόμα εγκλείσματα (πέτρες), κρίθηκε χρήσιμο να αφαιρεθούν αυτά με βελόνα. Ήταν στον «αέρα» και απομακρύνθηκαν με ένα άγγιγμα.
2ε, σε όλη την περιοχή	1064, Free: 150 mJ, 1Hz, 2mm wet, 1 φορά	Αποδεκτό	Φεύγουν ακόμη περισσότερα χόματα, διατηρείται το πράσινο στρώμα μαζί όμως με χόματα.
2στ, στο εξογκώμα της περιοχής Νο 2	1064, Free: 150mJ, 1Hz, 2 mm, dry, 3 επαναλήψεις		Επηρεάστηκε ο όγκος και χρωματικά. Φαίνεται να έχει γίνει επιμετάλλωση χαλκού (από θερμική επίδραση)

Παρατηρήσεις:

(1)

Το NdYAG 1064nm, LQS δε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Απομακρύνει τις επικαθίσεις χώματος και τις πράσινες κρούστες. Το μαυροπράσινο στρώμα πατίνας, το οποίο μάλλον διατηρείται κατά τόπους, διατηρείται μετά τον καθαρισμό, αλλά έχει ματ ηφή. Το ίδιο συμβαίνει και με τον υποκείμενο κυπρίτη, ο οποίος εμφανίζεται γκρι-μωβ με ματ υφή, επίσης. Τα εξογκώματα δύσκολα απομακρύνονται σε χαμηλή ενέργεια, αλλά σε αύξηση της ενέργειας παρατηρείται θερμικό αποτέλεσμα. Σε μεγαλύτερο spot size λογικά θα επηρεάζεται, εκτός του εξογκώματος, και η υπόλοιπη επιφάνεια. Κρίνεται απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό.

(2)

Το NdYAG 1064nm, Free: δίνει καλύτερα και αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα για την απομάκρυνση των χωμάτων όχι όμως και των εξογκωμάτων διάβρωσης. Συγκεκριμένα με μικρή διάμετρο δέσμης (2mm), και συνολικά 4 επαναλήψεις με αυξανόμενη ενέργεια (3 με ενέργεια 100 mJ+ 1 με ενέργεια 50 mJ) τα χόματα απομακρύνθηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό και η επιφάνεια διατηρεί το υποκείμενο πράσινο στρώμα, χωρίς καμία αλλοίωση χρωματική ή θερμική. Στις περιοχές που ο όγκος των χωμάτων είναι πολύ μεγάλος χρειάζονται πολλές επαναλήψεις για την απομάκρυνσή τους (συνολικά έγιναν επιλεκτικά 57 επαναλήψεις) και σε κάποια στιγμή κρίνεται απαραίτητη και η χρήση μικροεργαλείων (συνδυασμός με μηχανικό καθαρισμό) για την απομάκρυνση των εγκλεισμάτων του χώματος.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 15

15. Άσπρο τραχύ από κράμα, Αλέξιος Α΄ Κομνηνός (1081-1118), νομ. Κωνσταντινούπολις, 1092-1118. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. Β: 2,825 γρ.

M. Hendy, *Catalogue of the Byzantine Coins in the Dumbarton Oaks Collection and in the Whittemore Collection*, vol. 4: *Alexius I to Michael VIII*, part 1: *Alexius I to Alexius V (1081-1204)*, Washington D.C. 1999, σ. 226-227, αρ. 25a.1-25b.15.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Cu και Pb στην πατίνα και στις κρούστες, XRF.

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία, στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες.

Διάβρωση-Επικαθίσεις: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ένα πράσινο στρώμα πατίνας. Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια καλύπτεται από ένα καφέ στρώμα οξειδίων. Κατά τόπους εντοπίζονται εξογκώματα κυπρίτη και κρούστες πράσινου χρώματος μαζί με επικαθίσεις χρώματος.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των επικαθίσεων χρώματος, των πράσινων προϊόντων και μείωση των εξογκωμάτων κυπρίτη και διατήρηση της πατίνας.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, κέντρο αριστερά	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 820 V) 100 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm ² , wet, Speed x:2600 st/s Speed y:3500 st/s, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,34 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής.	Αποδεκτό	Έλεγχος μετά από 2 σαρώσεις - “επικάλυψη”: Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση). Έλεγχος μετά από 6 σαρώσεις - “επικάλυψη”: Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση). Έλεγχος μετά από 10 σαρώσεις - “επικάλυψη”: Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση).
1β, στην ίδια περιοχή	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 820 V) 100 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm ² , wet, Speed x:260 st/s Speed y:350 st/s, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,34 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 10 σαρώσεις - “επικάλυψη”.	Μη αποδεκτό	Αλλαγή του χρώματος των εξογκωμάτων του κυπρίτη, από κόκκινο χρώμα σε καφέ ή κίτρινο. Απομάκρυνση της πράσινης πατίνας, στο μεγαλύτερο μέρος της και αποκάλυψη του υποκείμενου στρώματος του κυπρίτη με ματ μωβ εμφάνιση.
2, πάνω αριστερά	NdYAG, 1064nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 820 V) 100 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size μέσω ίριδας: 0,3 cm ² , wet, Speed x:2600 st/s Speed y:3500 st/s, Απόσταση φακού αντικειμένου 88 cm και ίριδας αντικειμένου 14 cm, διάμετρος ίριδας 0,588 cm (0,34 J/cm ²), καθαρισμός	«Αποδεκτό»	Μείωση των εξογκωμάτων του κυπρίτη και διατήρηση του πράσινου στρώματος της πατίνας (καμία επίδραση) στο μεγαλύτερο μέρος. Η επίδραση έγινε για συνδυασμό της μεθόδου με μηχανικό.

	με σταθμό μικρομηχανικής, 15 σαρώσεις - “επικάλυψη”.		
3a, περιοχή πάνω δεξιά, δεξιά	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 817 V) 22,5 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (Fluence 0,4 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 2 shots.	Μη αποδεκτό	Μερική απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος και πράσινων προϊόντων. Η επιφάνεια των οξειδίων έχει γίνει ματ.
3b, στην ίδια περιοχή, αριστερά	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 791 V) 13,86 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,28 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 10 shots.	Μη αποδεκτό	Μερική απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος και πράσινων προϊόντων. Η επιφάνεια των οξειδίων έχει γίνει ματ. Αυτό που συμπεραίνουμε είναι ότι η υψηλή ενέργεια και τα πολλά shots, δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα.....
3c, περιοχή πάνω δεξιά, στην μέση των άλλων δύο καθαρισμών	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 781 V) 11,24 mJ, Repetition rate:1 Hz, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,23 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 5 shots.	«Αποδεκτό»	Μερική απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος και πράσινων προϊόντων. Η επιφάνεια των οξειδίων έχει γίνει λίγο ματ.
3d, περιοχή πάνω δεξιά σάρωση σε όλη την περιοχή 3	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 781 V) 11,24 mJ, Repetition rate:0,64 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:100 st/s, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,23 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 5 σαρώσεις σε όλη την	Αποδεκτό	Μερική απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος και πράσινων προϊόντων. Στο κέντρο της περιοχής παραμένουν εξογκώματα κυπρίτη (τα οποία αποκαλύφθηκαν μετά την απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων). Το λεπτό στρώμα των οξειδίων έχει γίνει λίγο γκρι και ματ, αλλά το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό... Θέλουμε να έχουμε έστω ένα καθαρισμό με αυτό το μήκος κύματος και στο νόμισμα αυτό έχουμε σχετικά καλά αποτελέσματα. Καλύπτουμε την περιοχή των εξογκωμάτων

	περιοχή 3.		και συνεχίζουμε για να απομακρύνουμε όλα τα προϊόντα... καθ. 3ε.
3ε, περιοχή πάνω δεξιά, σάρωση στη περιοχή 3, μόνο αριστερά	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 781 V) 11,24 mJ, Repetition rate:0,64 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:100 st/s, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,23 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, άλλες 5 σαρώσεις στην περιοχή 3, μόνο αριστερά.	Αποδεκτό	Μερική ακόμη απομάκρυνση επικαθίσεων χρώματος και πράσινων προϊόντων. Η επιφάνεια των οξειδίων έχει γίνει λίγο ματ, αλλά το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό...
3ε, περιοχή πάνω στον καθαρισμό 3ε	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 786 V) 12,5 mJ, Repetition rate:1,2 Hz, Speed x: 30 st/s Speed y:12 st/s, Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,25 J/cm ²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, άλλες 5 σαρώσεις.	Μη αποδεκτό	Συνεχίστηκε η απομάκρυνση των πράσινων προϊόντων, αλλά δεν απομακρύνθηκαν όλα... Η επιφάνεια των οξειδίων έχει γίνει πολύ ματ και κοκκινωπή, και στα ανώτερα σημεία των αναγλύφων έχει αποκαλυφθεί ο μεταλλικός πυρήνας... το τσακίσαμε...

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία, στις περιοχές όπου δεν εντοπίζονται κρούστες.

Διάβρωση-Επικαθίσεις: Η επιφάνεια καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ένα πράσινο στρώμα πατίνας. Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια καλύπτεται από ένα καφέ στρώμα οξειδίων. Κατά τόπους εντοπίζονται εξογκώματα κυπρίτη και κρούστες πράσινου χρώματος μαζί με επικαθίσεις χρώματος.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 18

18. Αργυρή δραχμή, Ιστιαία, β' μισό 4^{ου} αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 182. Β: 3,338 γρ.

B.V. Head. *Catalogue of Greek Coins in the British Museum: Central Greece*, London 1884, σ. 125, αρ. 1.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Ag. Δεν έχει γίνει ανάλυση της επιφάνειας με SEM.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι σχετικά λεία. Εμφανίζονται δενδρίτες. Εντοπίζονται αρκετές εγχαραξείς.

Διάβρωση: Οι εσοχές καλύπτονται από μαύρο στρώμα θειούχου αργύρου. Ανάμεσα στους δενδρίτες παρατηρείται επίσης μαύρο προϊόν θειούχου αργύρου. Κατά τόπους στις εσοχές παρατηρούνται επικαθίσεις χρώματος.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση του στρώματος θειούχου αργύρου και η διατήρηση της πατίνας.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1α, κάτω αριστερά	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 5-6mm, wet, (0,35-0,25 J/cm ²), 5 επαναλήψεις.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Απομακρύνθηκε λεπτό στρώμα Ag ₂ S, δεν απομακρύνθηκαν οι επικαθίσεις.
1β, στην ίδια περιοχή, στις εσοχές που έχουν	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 3-4 mm, wet, (0,95-0,55	Αποδεκτό	Εφαρμογή στις επικαθίσεις: εμφάνιση χλωριούχου; προϊόντος. Τα αποτελέσματα κρίνονται

επικαθίσεις	J/cm ²).		ικανοποιητικά.
1γ, κάτω αριστερά	NdYAG 1064nm, LQS: 130mJ, με εξασθενητή, 1Hz, 3-4 mm, wet, (0,95-0,55 J/cm ²), 3 επαναλήψεις επιλεκτικά	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται, ίσως να έχει λίγο κοκκινίσει, με γυμνό μάτι. Παραμένουν λίγα ίχνη επικαθίσεων.
2α, στη μέση αριστερά	NdYAG 1064nm, Free: 100mJ, 1Hz, 3-4mm, wet, 3 επαναλήψεις.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Απομακρύνθηκε λεπτό στρώμα AgS. Απομακρύνθηκαν οι επικαθίσεις και εμφανίστηκε χλωριούχο; προϊόν.
2β, στην ίδια περιοχή, στις εσοχές που εμφανίστηκε χλωριούχο; προϊόν	NdYAG 1064nm, Free: 100mJ, 1Hz, 2mm, wet, (3,2 J/cm ²) 2 επαναλήψεις.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Απομακρύνθηκε σχεδόν πλήρως το χλωριούχο; προϊόν.
2γ, στη μέση αριστερά	NdYAG 1064nm, Free: 100mJ, 1Hz, 3-4mm, wet, (1,4-0,8 J/cm ²) 2 επαναλήψεις, επιλεκτικά.	Αποδεκτό	Η επιφάνεια δεν επηρεάζεται (αρνητικά). Ο καθαρισμός της επιφάνειας έγινε πιο ομοιόμορφος.
4, στη μέση δεξιά, περιοχή 1,05 cm x 0,2cm	NdYAG, 266nm, με εξασθενητή (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 850 V) 4,89 mJ, Speed x:15 st/s Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,555 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (0,88 J/cm ²) καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής	Μη αποδεκτό	Φτάνουμε κάτω από την αρχική επιφάνεια. Απομακρύνονται τα προϊόντα και εμφανίζονται δενδρίτες και σε ορισμένα σημεία η επιφάνεια είναι πολύ ματ.
5, στη μέση δεξιά, δίπλα από τον καθαρισμό 4, περιοχή 0,25 cm x 0,2cm	NdYAG, 266nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 750 V) 0,25 mJ, Speed x:15 st/s	Αποδεκτό	Απομακρύνθηκε λεπτό στρώμα AgS, αλλά δεν απομακρύνθηκε το στρώμα του χλωριούχου . Η επιφάνεια παραμένει λεία όπως στον καθαρισμό1, ενώ όπου υπάρχουν έντονοι δενδρίτες παραμένει χλωριούχος στις εσοχές.

	Speed y:500 st/s Repetition rate:5Hz, Spot size: 0,029 mm ² , wet, Απόσταση φακού αντικειμένου 45cm (0,86 J/cm ²) καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής		
--	--	--	--

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι λεία. Παρουσιάζονται δενδρίτες διαγώνια πάνω και αριστερά. Εντοπίζονται αρκετές εγχαράξεις.

Διάβρωση: Οι εσοχές καλύπτονται από μαύρο στρώμα θειούχου αργύρου. Ανάμεσα στους δενδρίτες παρατηρείται, επίσης, μαύρο προϊόν θειούχου αργύρου. Στις εσοχές παρατηρούνται επικαθίσεις χρώματος.

Παρατηρήσεις:

Με το NdYAG 1064nm, LQS και Free στις συγκεκριμένες συνθήκες τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά. Κατά τον καθαρισμό, κάτω από τις επικαθίσεις εμφανίζεται γλωριούχο; προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι ο καθαρισμός προχωρά κατά στρώματα. Παρόλο που δεν έχουν απομακρυνθεί όλες οι επικαθίσεις, τα αποτελέσματα των καθαρισμών κρίνονται.

Δοκιμή για να δούμε από ποιά ενέργεια ξεκινούν τα θερμικά αποτελέσματα στον άργυρο και τί μορφής είναι.

Δεν είναι απαραίτητη η χρήση μικροσκοπίου κατά τον καθαρισμό.

NM ΝΟΜΙΣΜΑ 22

22. Αντωνινιανός, Φίλιππος Α΄ Άραβας (244-249 μ.Χ.). Π.Κ. αύξ. αρ. 230 B: 3,985 γρ.

Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. III: *Pertinax to Aemilian*, Oxford 1977; σ. 214, αρ.8.

Υλικό κατασκευής: Κράμα Ag, Cu, Pb, Zn με XRF.

Εμπρόσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι είναι σχετικά λεία.

Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται κατά τόπους μαύρα προϊόντα διάβρωσης. Στα ανώτερα σημεία η επιφάνεια καλύπτεται από ένα λεπτό γκρι – μαύρο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου.



Στόχος καθαρισμού: Η απομάκρυνση των στρωμάτων προϊόντων διάβρωσης και η διατήρηση της πατίνας.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1, οριζόντια λωρίδα στη μέση αριστερά,	NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 790 V) 13,6 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz, Speed x:15,26 st/s Speed y:0 st/s,	Αποδεκτό?	Απομακρύνονται τα προϊόντα από την επιφάνεια. Η επιφάνεια δεν θεωρείται ανέπαφη, εντοπίζονται κρύσταλλοι αργύρου, θερμικό και λίγο κιτρινίζει.

	<p>Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,28 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 2 σαρώσεις, *66 φορές επίδραση στο ίδιο σημείο βάση ταχύτητας και μεγέθους spot.</p>		
--	--	--	--

Οπίσθια όψη

Κατάσταση επιφάνειας: Η επιφάνεια είναι είναι σχετικά λεία.

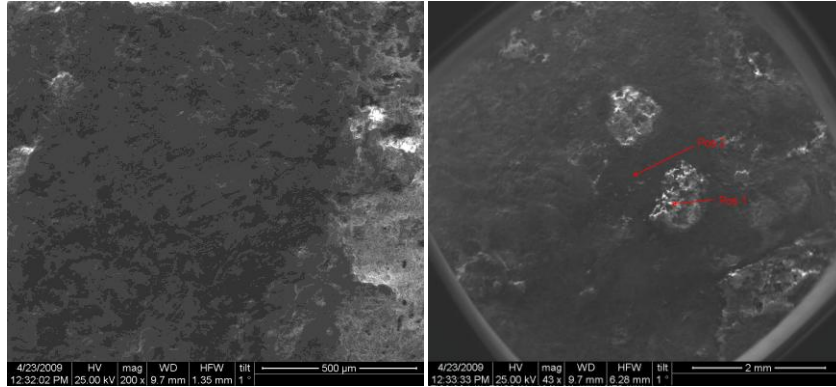
Διάβρωση: Η επιφάνεια καλύπτεται από ένα λεπτό καφέ – μαύρο στρώμα προϊόντων διάβρωσης του αργύρου.

α/α, Περιοχή	Laser/Συνθήκες	Αποτέλεσμα	Σχολιασμός
1, οριζόντια λωρίδα δεξιά, στο ύψος των μαλλιών	<p>NdYAG, 532 nm, (Τάση τροφοδοτικού για το laser: 777 V)</p> <p>10 mJ, Repetition rate: 0,5 Hz,</p> <p>Speed x:15,26 st/s</p> <p>Speed y:0 st/s,</p> <p>Spot size: 0,248 cm διάμετρος, 0,048 cm², wet,</p> <p>Απόσταση φακού αντικειμένου 10 cm (0,21 J/cm²), καθαρισμός με σταθμό μικρομηχανικής, 1 σάρωση, *66 φορές επίδραση στο ίδιο σημείο βάση ταχύτητας και μεγέθους spot.</p>	Αποδεκτό?	Απομακρύνονται τα προϊόντα από την επιφάνεια. Η επιφάνεια δεν θεωρείται ανέπαφη, εντοπίζονται σταγονίδια αργύρου μέσα στον πυρσό, θερμικό και λίγο κιτρινίζει.

SEM και EDS

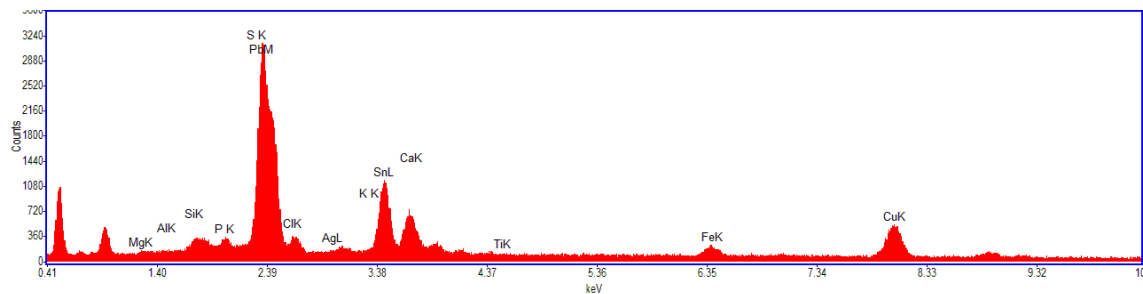
Νόμισμα 1.

Χάλκινο νόμισμα, Κέρκυρα, 229-48 π.Χ.. Παλιά Συλλογή-Διάφορα. Β: 7,368 γρ. *Sylloge Nummorum Graecorum, Grèce 3, Musée Numismatique d'Athènes, Collection Antoine Christomanos, première partie: Italie-Eubée, Athènes 2004., αρ. 622-623.*

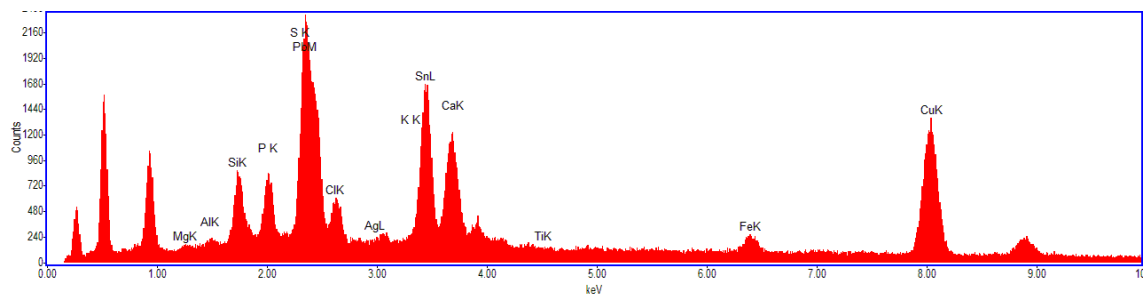


Αριστερα.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 200x

Δεξια.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 43x.Θέσεις 1 και 2 όπου εφαρμόστηκε EDS



EDS στην θέση 1.

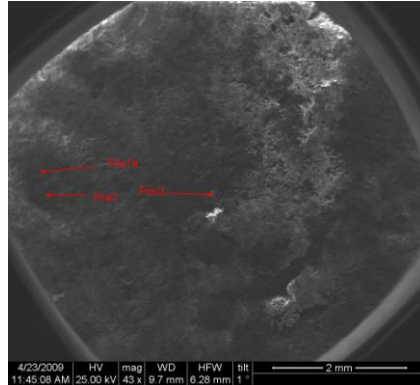


EDS στην θέση 2.

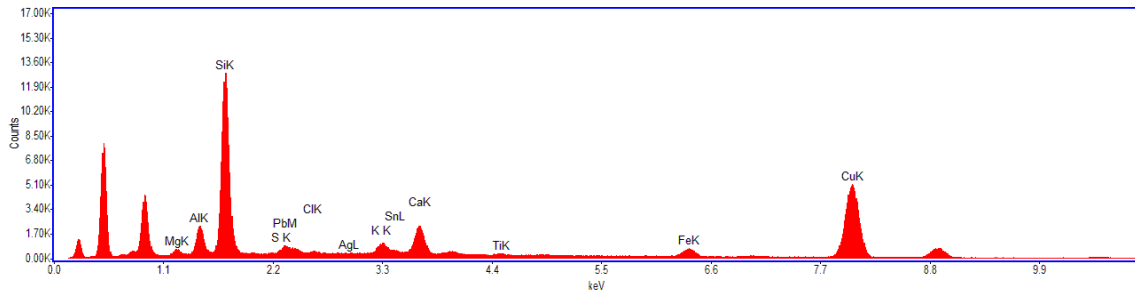
Νόμισμα 2.

Χάλκινο νόμισμα, Κωνσταντίνος Β' (337-361 μ.Χ.), νομ. απροσδιόριστο, 353-360 μ.Χ. Παλιά Συλλογή – Διάφορα. Β: 2,194 γρ.

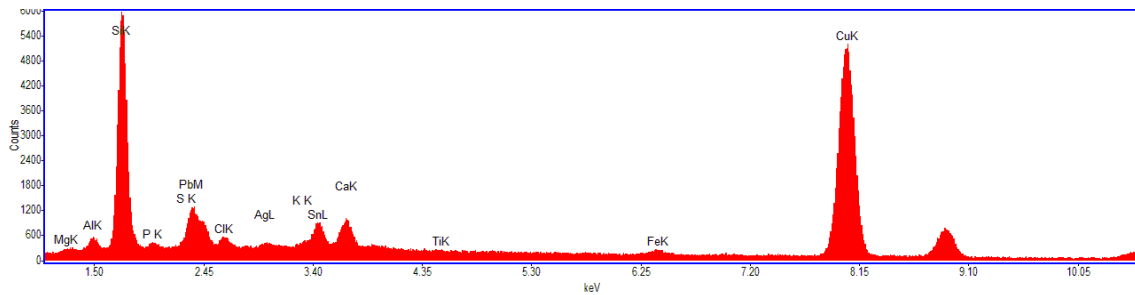
A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. V: *Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 304, αρ. 15 (παρ.).



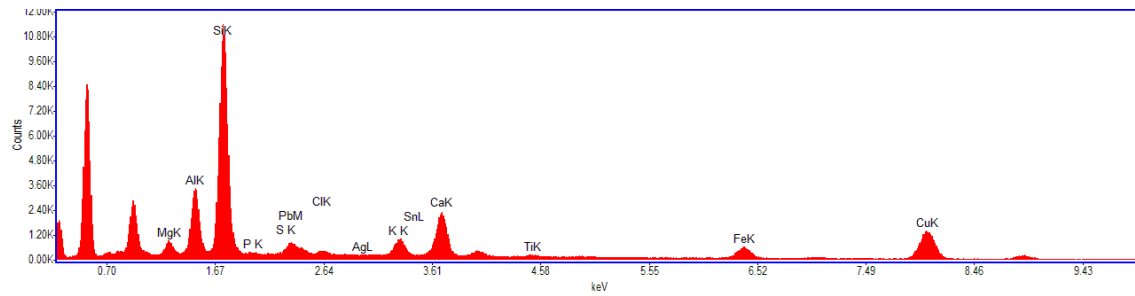
SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 43x. Θέσεις 1, 1α, 2 όπου εφαρμόστηκε EDS



Θέση 1



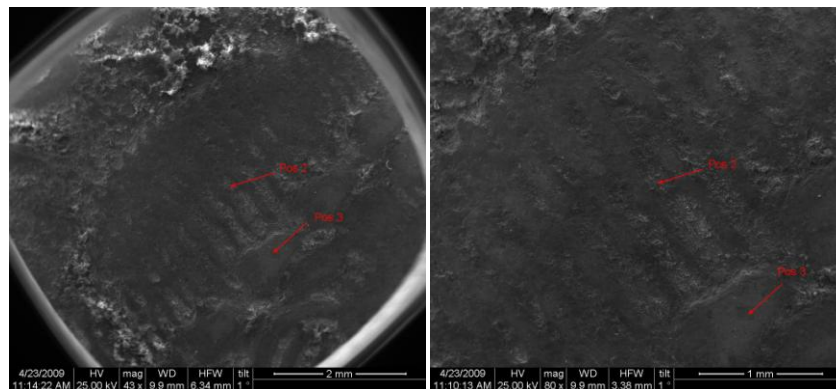
Θέση 1 α.



Θέση 2.

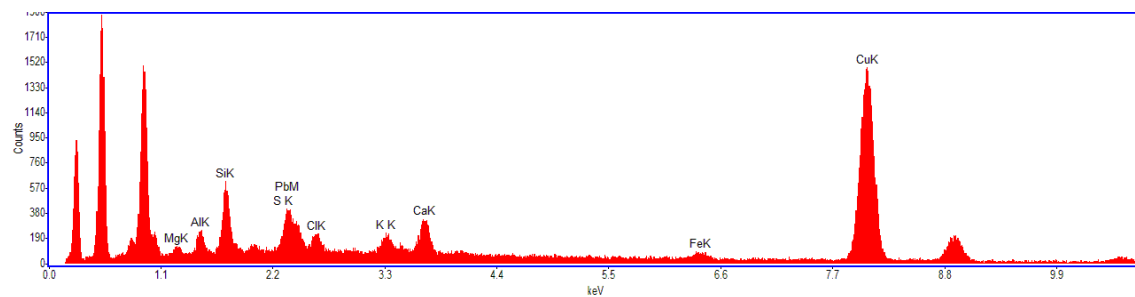
Νόμισμα 3.

Φόλλις, Κωνσταντίνος Α' (307-337 μ.Χ.), νομ. Λυών, 313-317 μ.Χ. Παλιά Συλλογή-Διάφορα. Β: 2,635 γρ.Α.Σ., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow, vol. V: Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 174, αρ. 86.

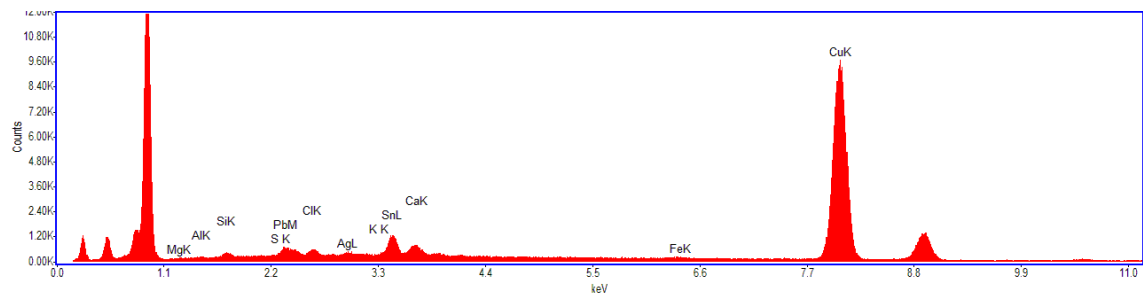


Αριστερα:SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 43x.Περιοχές 2,3 όπου εφαρμόστηκε EDS

Δεξιά:SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 80x.Περιοχές 2,3 όπου εφαρμόστηκε EDS



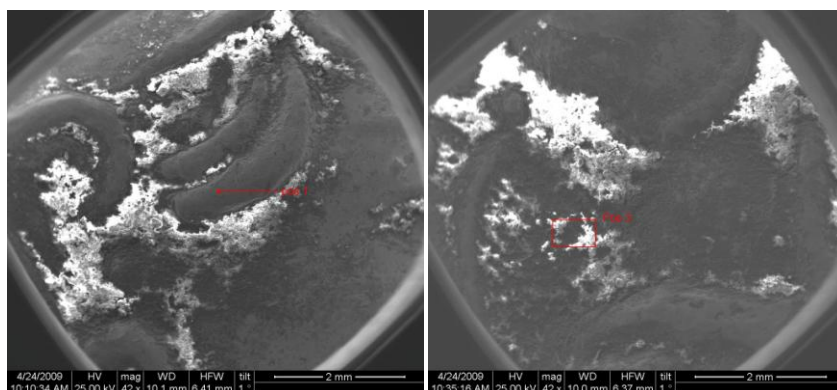
Θέση 2.



Θέση 3

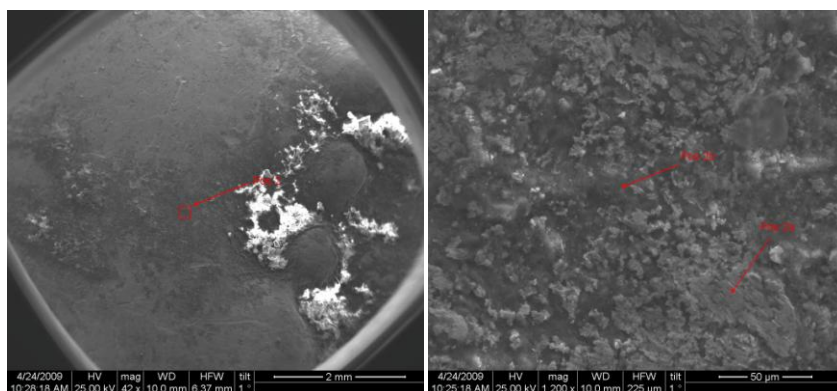
Νόμισμα 4.

Αργυρό τετράδραχμο, Αθήνα, 390-295 π.Χ.. Π.Κ. αύξ. αρ. 35. Β: 17,253 γρ.
Sylloge Nummorum Graecorum, Deutschland, Staatliche Münzsammlung München, Heft 14:Attika, Megaris, Ägina, München 2002, αρ. 90-98.



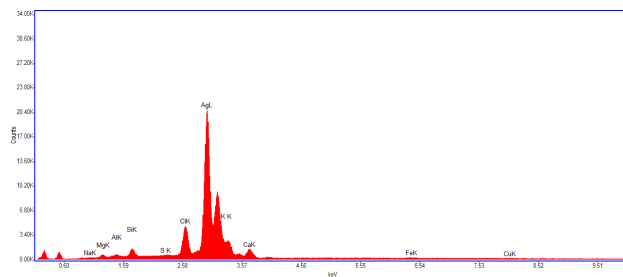
Αριστερά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x.Περιοχή 1 όπου εφαρμόστηκε EDS

Δεξιά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Περιοχή 3 όπου εφαρμόστηκε EDS

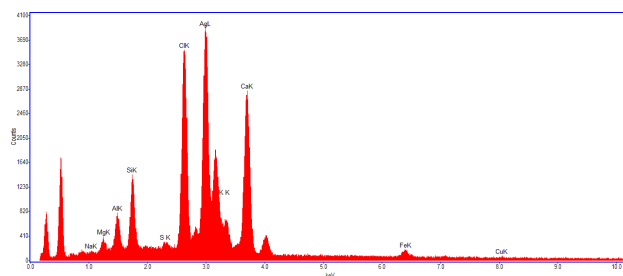


Αριστερά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Περιοχή 2 όπου εφαρμόστηκε EDS

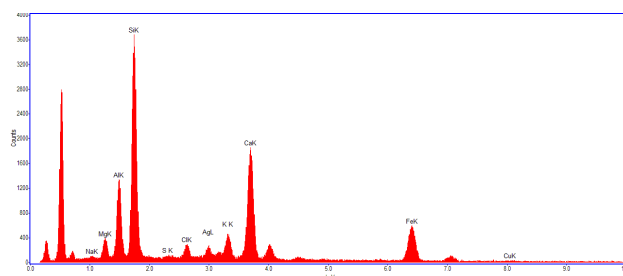
Δεξιά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 1200x. Περιοχές 2 α,2 β, όπου εφαρμόστηκε EDS



EDS Θέση 1.



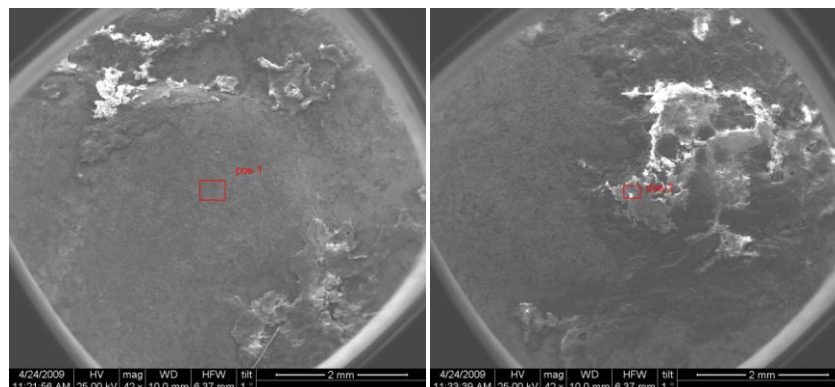
EDS Θέση 2.



EDS Θέση 3.

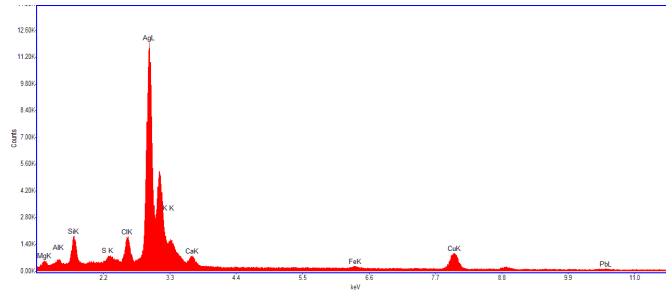
Νόμισμα 5.

Αντωνιανός, Γορδιανός Γ', 238-244 μ.Χ., Π.Κ. αύξ. αρ. 44. Β: 3,590 γρ. Α.Σ., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. III: *Pertinax to Aemilian*, Oxford 1977, σ. 198, αρ. 55.

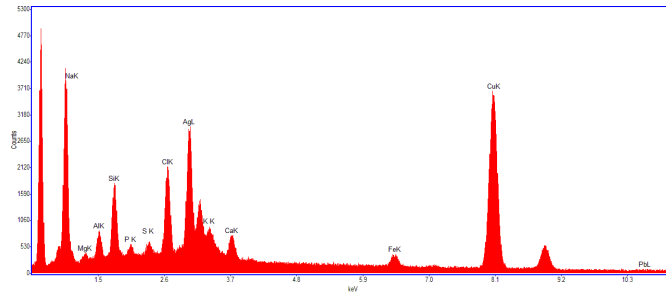


Αριστερά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x.Θέση 1 όπου εφαρμόστηκε EDS

Δεξιά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Θέση 2 όπου εφαρμόστηκε EDS



Θέση 1.

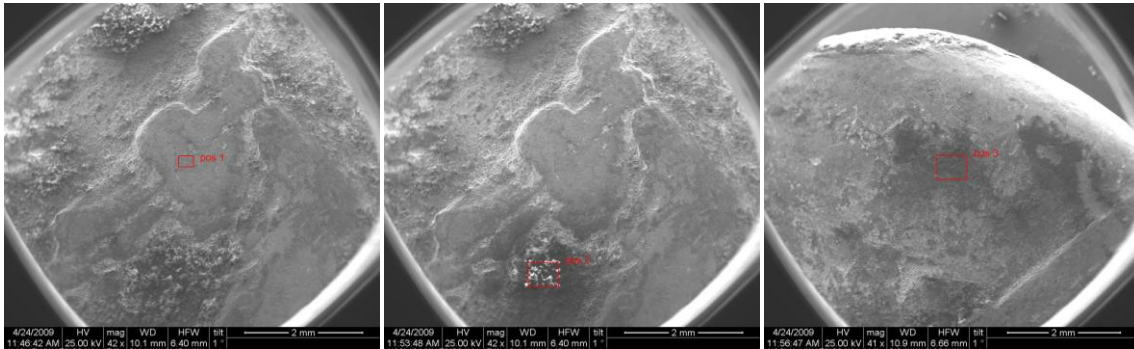


Θέση 2.

Νόμισμα 6.

Αργυρός στατήρας, Κόρινθος, α΄ μισό 4^{ου} αιώνα π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 127. Β: 8,444 γρ.

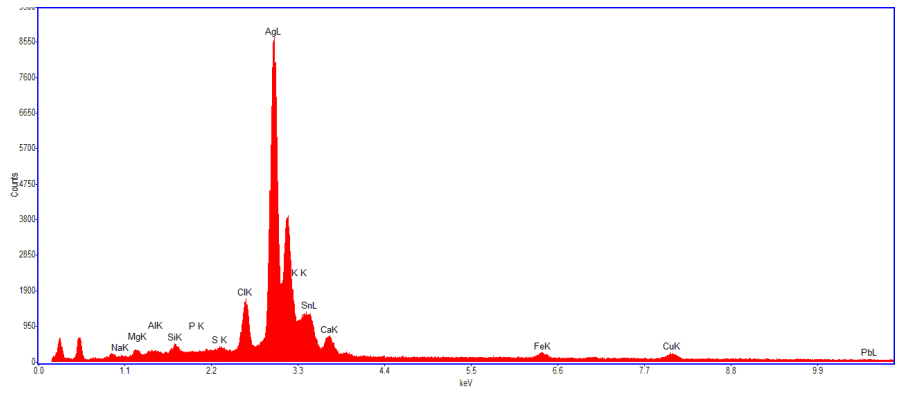
Ο.Ε. Ravel, *Les «Poulains» de Corinthe*, vol. II, London 1948, αρ. 1017.



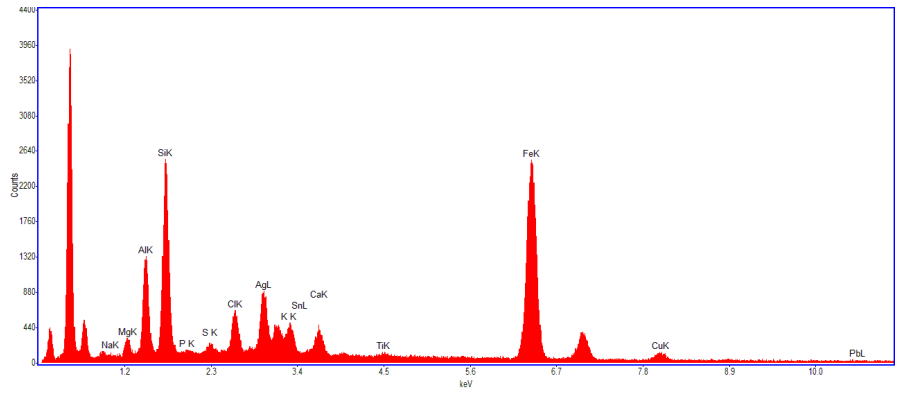
Αριστερά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Θέση 1 όπου εφαρμόστηκε EDS

Κέντρο.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Θέση 2 όπου εφαρμόστηκε EDS

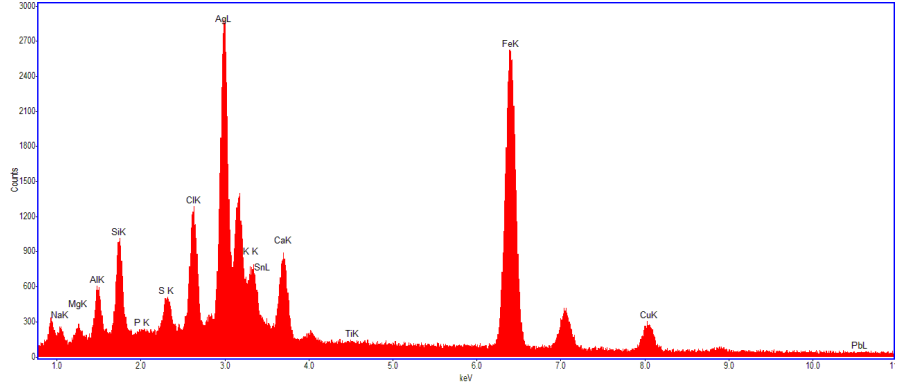
Δεξιά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 41x. Θέση 3 όπου εφαρμόστηκε EDS



Θέση 1.



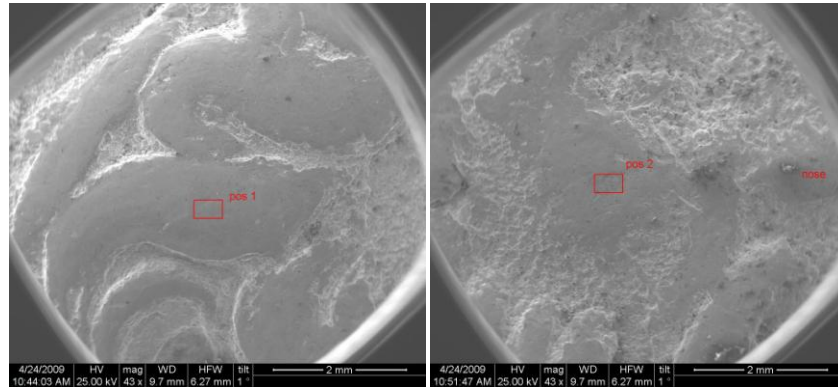
Θέση 2.



Θέση 3.

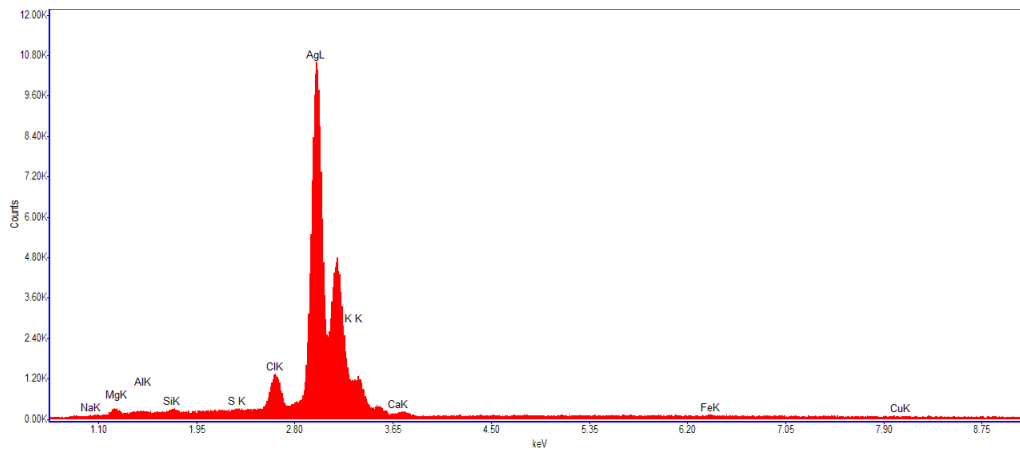
Νόμισμα 7.

Αργυρό τετράδραχμο, Φίλιππος Β' (359-336 π.Χ.), νομ. Αμφίπολις, 342/1-329/8 π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 202. Β: 14,608 γρ. G. Le Rider, *Le monnayage d'argent et d'or de Philippe II frappé en Macédoine de 359 à 294*, Paris 1977, σ. 112, αρ. 425a.

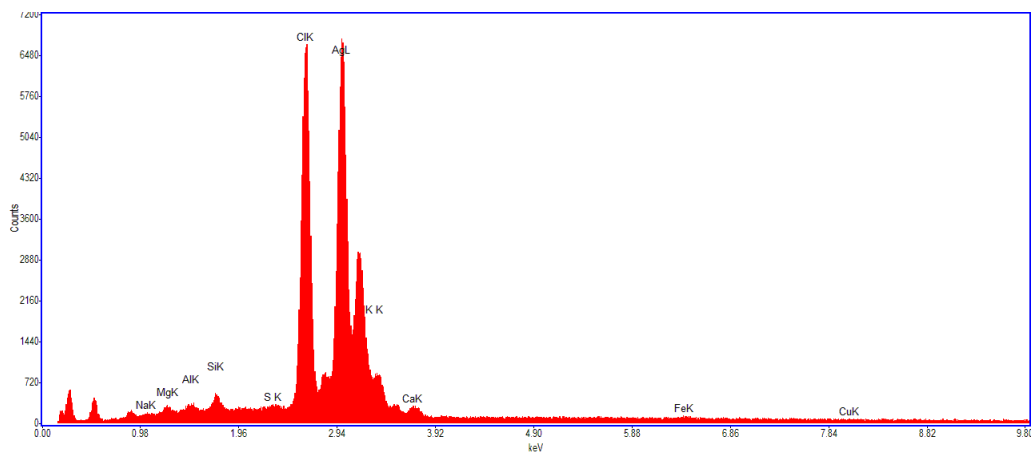


Αριστερά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 43x. Θέση 1 όπου εφαρμόστηκε EDS

Δεξιά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 43x. Θέση 2 όπου εφαρμόστηκε EDS



Θέση 1.

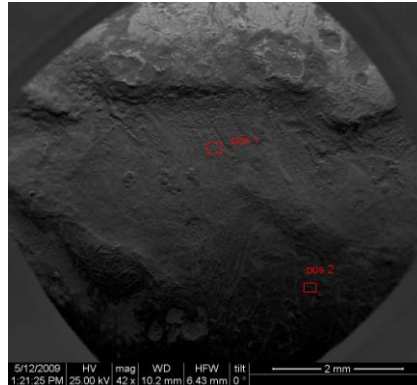


Θέση 2.

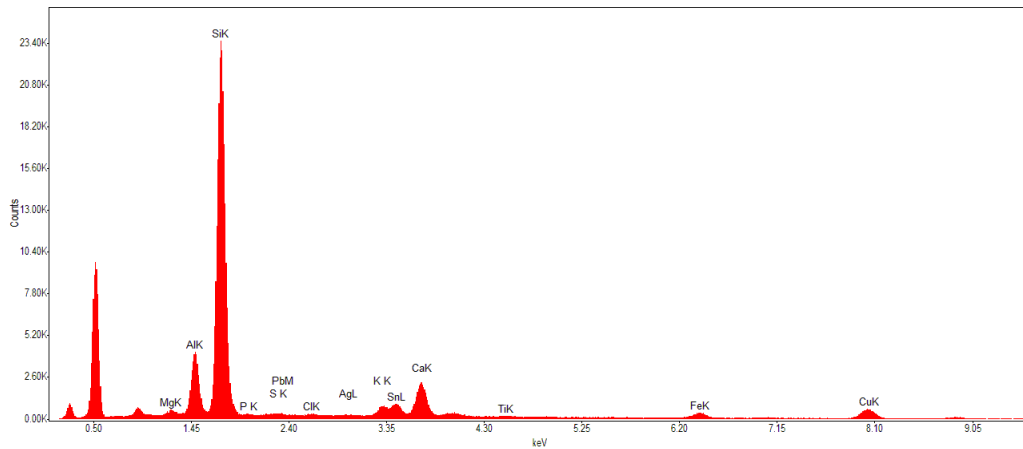
Νόμισμα 8.

Χάλκινο νόμισμα, Λάρισα, α΄μισό 4ου αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 189. Β: 6,069 γρ.

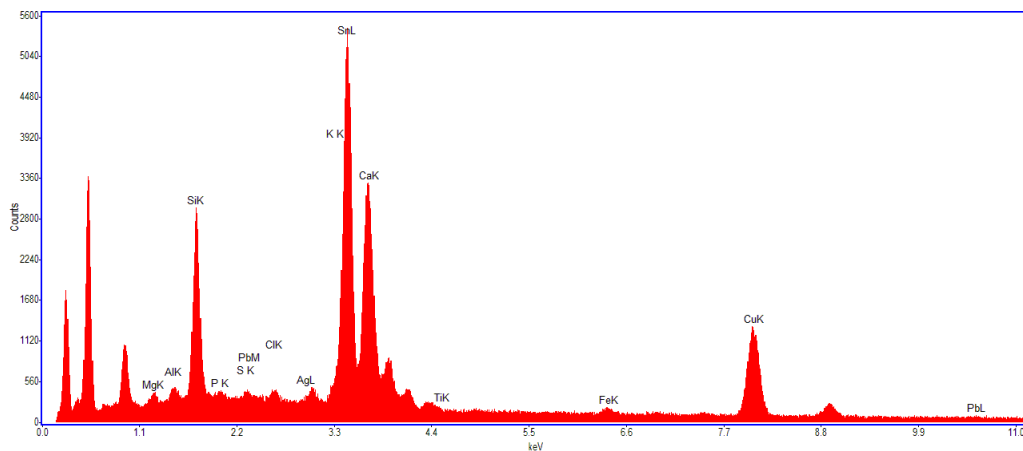
E. Rogers, *The Copper Coinage of Thessaly*, London 1932, σ. 94-95, αρ. 284-285.



SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Θέσεις 1 και 2 όπου εφαρμόστηκε EDS



Θέση 1.



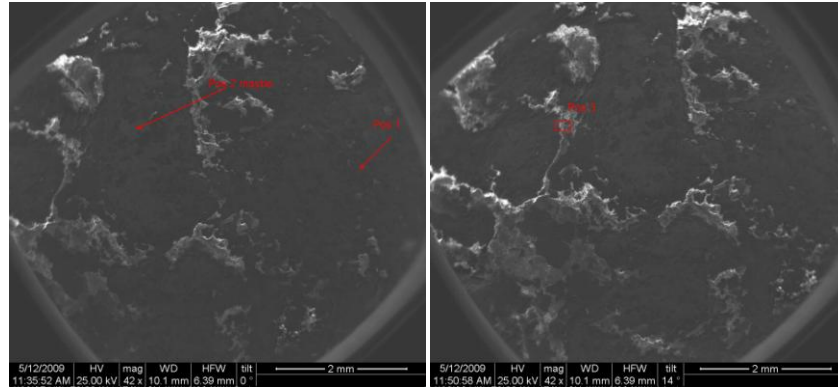
Θέση 2.

[120]

Νόμισμα 9.

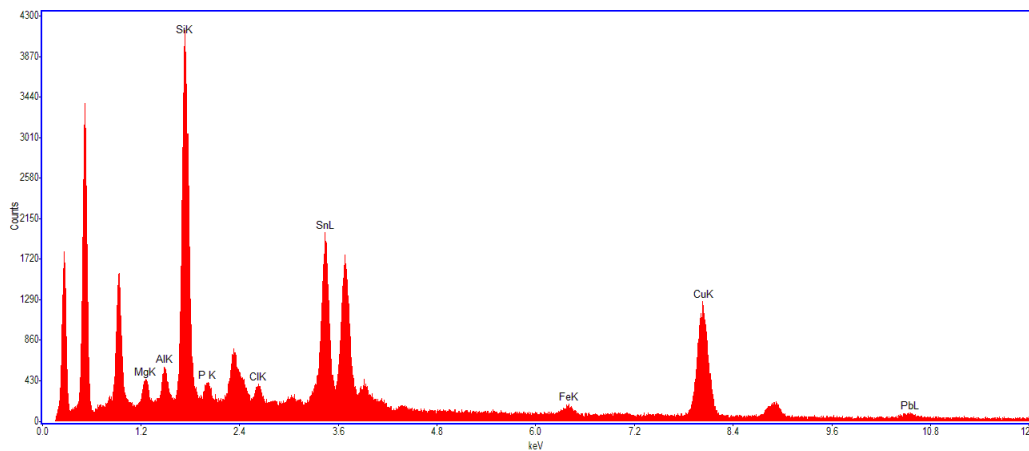
Χάλκινο νόμισμα, Λάρισα, α΄μισό 4ου αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 189. Β: 3,049 γρ.

E. Rogers, *The Copper Coinage of Thessaly*, London 1932, σ. 94-95, αρ. 284-285.

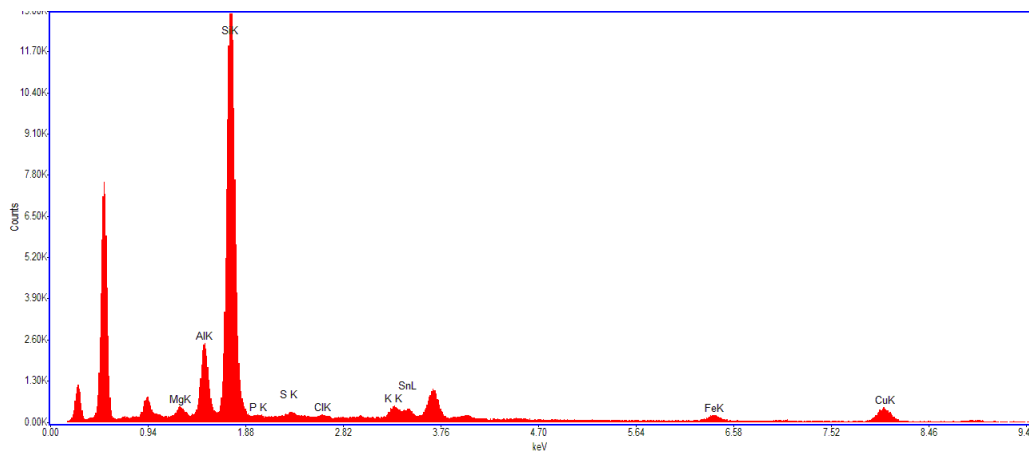


Αριστερά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Θέσεις 1 και 2 όπου εφαρμόστηκε EDS

Δεξιά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 42x. Θέση 3 όπου εφαρμόστηκε EDS



Θέση 1.

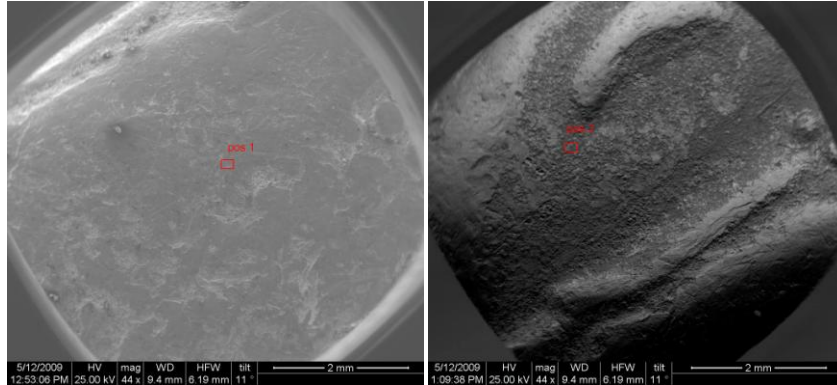


Θέση 3.

Νόμισμα 10.

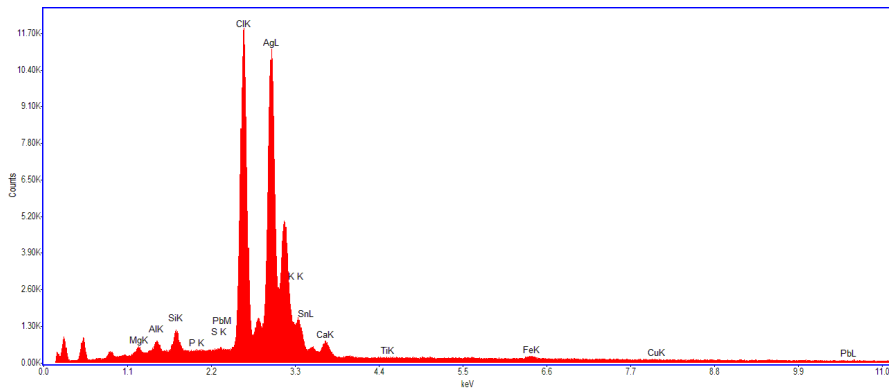
Αργυρό τετράδραχμο Αθηνών, 390-295 π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 35. Β: 17,264 γρ.

Sylloge Nummorum Graecorum, Deutschland, Staatliche Münzsammlung München, Heft 14:Attika, Megaris, Ägina, München 2002, αρ. 90-98.

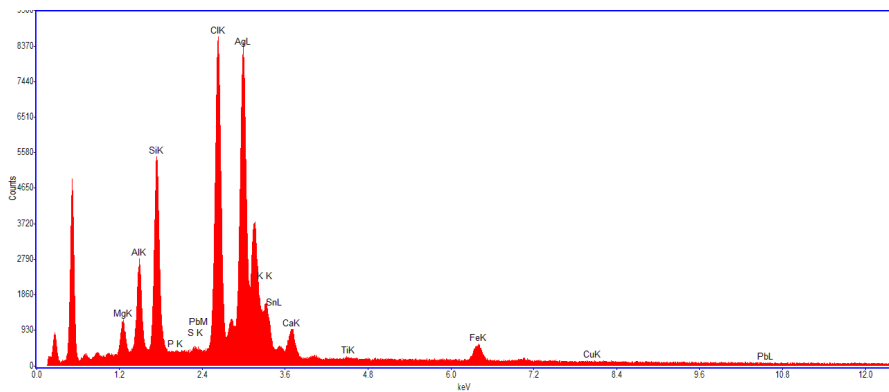


Αριστερά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 44x. Θέση 1 όπου εφαρμόστηκε EDS

Δεξιά.SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 44x. Θέση 2 όπου εφαρμόστηκε EDS



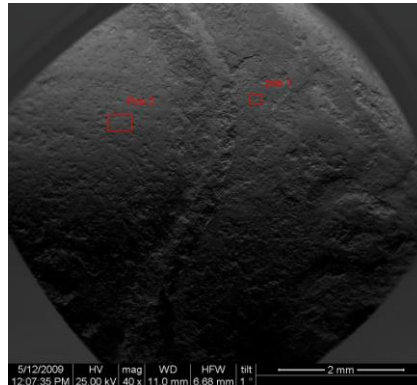
Θέση 1.



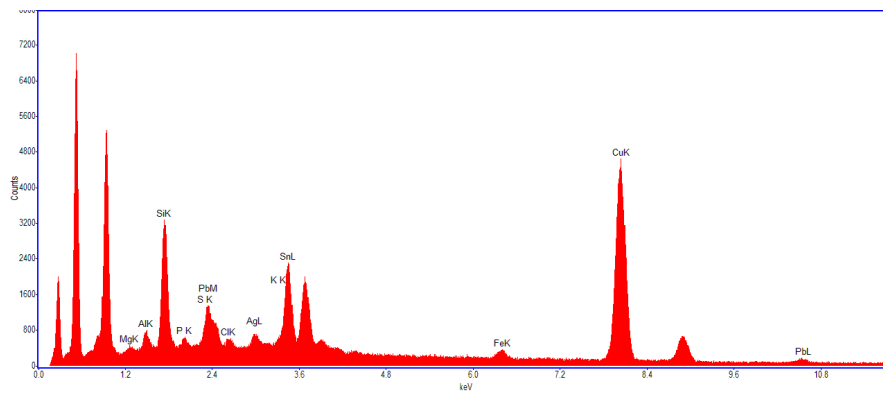
Θέση 2.

Νόμισμα 11.

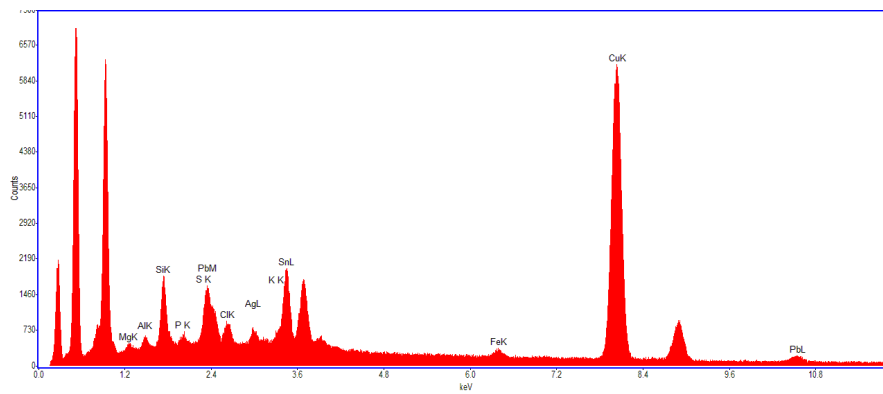
Χάλκινο νόμισμα, Urbs Roma, 330-337 μ.Χ., νομ. Κύζικος. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. Β: 2,142 γρ.Α.Σ., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. V: *Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 280, αρ. 16.



SEM στην επιφάνεια με μεγέθυνση 40x. . Θέσεις 1, 2 όπου εφαρμόστηκε EDS



Θέση 1.



Θέση 2.

Στα πλαίσια της Ελληνο-Ιταλικής συνεργασίας προβλεπόταν απο το συμφωνηθέν πρωτόκολλο μοντελοποίηση της αλληλεπίδρασης της ύλης με παλμούς Laser.

Η μοντελοποίηση συνδεόταν στο ακέραιο με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής.

Έγινε απο τον υποψήφιο διδάκτωρα των ναυπηγών μηχανικών κ. Σταθάτο υπο την επίβλεψη του καθηγητή κ. Παντελή στα πλαίσια συμμετοχής της σχολής ναυπηγών μηχανικών στο διακρατικό πρόγραμμα.

Έτσι εάν και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της διπλωματικής αυτής λόγω της μη ενασχόλησης μου δεν θεωρώ ηθικό να την συμπεριλάβω την διπλωματική μου εργασία. Οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος μπορεί να έρθει σε επαφή είτε με τον κ. Σταθάτο είτε με τον κ. Παντελή για το σύνολο των εργασιών στην μοντελοποίηση.

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από το πρόγραμμα, ερευνήθηκαν οι δυνατότητες των τεχνικών καθαρισμού με τη χρήση laser που αφορούν στη συντήρηση αρχαίων νομισμάτων από κράμα αργύρου και χαλκού. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με διαφορετικά μήκη κύματος κυρίως Nd:YAG laser, Q-switched και Free. Ταυτόχρονα ερευνήθηκε ο καταλληλότερος τρόπος εφαρμογής των laser για τον καθαρισμό νομισμάτων, με οπτικές ίνες και με σταθμό μικρομηχανικής. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι ο καθαρισμός με τη χρήση laser σε σταθμό μικρομηχανικής όπου το νόμισμα κινείται σε δύο άξονες μέσω προγράμματος, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν οι επιφάνεια καλύπτεται από λεπτό ομοιόμορφο στρώμα προϊόντων ή όταν τα προϊόντα είναι πολύ εύθρυπτα σε σχέση με το στρώμα πατίνας. Ο καθαρισμός με τη χρήση laser μέσω οπτικών ινών δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα και στις περιπτώσεις όπου η διάβρωση είναι ομοιόμορφη, αλλά και όταν εντοπίζεται διάβρωση ή/και επικαθίσεις κατά τόπους. Στην περίπτωση αυτή είναι χρήσιμο ο καθαρισμός να γίνεται μέσω οθόνης ή κάτω από το μικροσκόπιο, το οποίο θα είναι εφοδιασμένο με τα κατάλληλα φίλτρα ανάλογα με το μήκος κύματος του laser. Το 1064 nm Q-switched Nd:YAG laser έδειξε καλά αποτελέσματα σε περιπτώσεις αργυρών νομισμάτων με παχύ στρώμα προϊόντων διάβρωσης και επικαθίσεων σε σχετικά υψηλές πυκνότητες ενέργειας, αλλά και για επικαθίσεις χρώματος. Σε περιπτώσεις νομισμάτων από κράμα χαλκού απομακρύνει επικαθίσεις και προϊόντα του χαλκού, αλλά προσβάλλει την πατίνα, οπότε ικανοποιητικά αποτελέσματα μπορεί να δώσει κυρίως σε νεότερα νομίσματα, όπου η απογύμνωση της επιφάνειας θεωρείται επιθυμητή.

Το 266 nm Nd:YAG σύμφωνα με την βιβλιογραφία θα έπρεπε να μας δίνει καλά αποτελέσματα χωρίς θερμικά αποτελέσματα, αλλά στην δική μας μελέτη είχαμε θερμικά ακόμη και σε αρχαία ελληνικά νομίσματα.

Το 1064 nm Nd:YAG Free laser στις περισσότερες περιπτώσεις καθαρισμού αργυρών και χάλκινων νομισμάτων έδωσε θερμικά αποτελέσματα. Τα υπόλοιπα μήκοι κύματος Nd:YAG επιφέρουν θερμικά αποτελέσματα σε κράματα οποία περιέχουν Ag, Cu, Pb and Sn και για το λόγο αυτό θερμικά αποτελέσματα εντοπίζονται συχνότερα σε ρωμαϊκά νομίσματα.

Τις περισσότερες φορές έχουμε θερμικά αποτελέσματα σε κάποια επανάληψη του καθαρισμού, αλλά είναι δύσκολο να εντοπιστεί η επανάληψη που θα επιφέρει θερμικό αποτέλεσμα. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι ο σταθμός μικρομηχανικής ανάλογα με τις συνιστώσες x και y και ανάλογα το spot size δημιουργεί επικαλύψεις στην επιφάνεια καθαρισμού (π.χ. 60 φορές).

Σε κάθε περίπτωση ένα οπτικό μικροσκόπιο σε μεγάλες μεγεθύνσεις x40 μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο του αποτελέσματος του καθαρισμού. Στην παραπάνω μελέτη υπήρξε ταύτιση των απόψεων για την ύπαρξη ή μη θερμικού αποτελέσματος του οπτικού μικροσκοπίου με την ανάλυση με SEM και μόνο σε μία περίπτωση εντοπίσαμε θερμικό αποτέλεσμα μικρής έκτασης σε μεγέθυνση x2500, το οποίο δεν είχε εντοπιστεί με το οπτικό μικροσκόπιο.

Συμπερασματικά ο καθαρισμός με τη χρήση laser μπορεί να αποτελέσει ακόμη ένα εργαλείο στα χέρια των συντηρητών, έτσι ώστε ανάλογα την περίπτωση να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Στην περίπτωση των αργυρών νομισμάτων ο καθαρισμός με τη χρήση laser μπορεί να αντικαταστήσει το καθαρισμό με χημικά μέσα, με μηχανικά ή με αποξεστικές σκόνες. Στην περίπτωση των νομισμάτων από κράμα χαλκού ο καθαρισμός με τη χρήση laser μπορεί να είναι αποτελεσματικός εφόσον τα προϊόντα που πρόκειται να απομακρυνθούν είναι εύθρυπτα. Σε κάθε περίπτωση πάντως ο καθαρισμός με τη χρήση laser είναι εξαιρετικά αποτελεσματικός, όταν η μηχανική αντοχή του νομίσματος είναι μικρή.

Φωτογραφίες νομισμάτων του τρίτου κύκλου πειραμάτων

Φωτογραφίες νομισμάτων ελεύθερης διάθεσης που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια του τρίτου κύκλου πειραμάτων

Νόμισμα Β.1



Νόμισμα Β.2



Νόμισμα Β.3



Νόμισμα Β.4



Νόμισμα Β.5



Νόμισμα Β.6



Νόμισμα Β.7



Νόμισμα Β.8



Νόμισμα Β.9



Νόμισμα Β.10



Νόμισμα Β.11



Νόμισμα Β.12



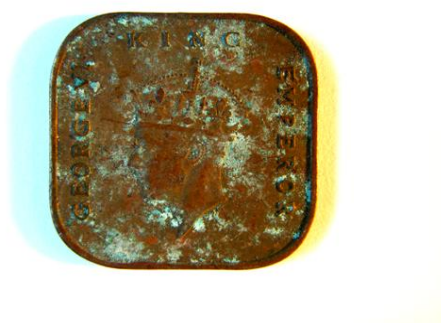
Νόμισμα Β.13



Νόμισμα Β.14



Νόμισμα Β.15



Νόμισμα Β.16



Νόμισμα Β.17



Νόμισμα Β.18



Νόμισμα Β.19



Νόμισμα Β.20



Νόμισμα Β.21



Νόμισμα Β.22



Νόμισμα Β.23



Νόμισμα Β.24





Αρχαία νομίσματα που χρησιμοποιήθηκαν στον τέταρτο κύκλο
πειραμάτων

Αναλυτικός κατάλογος των αρχαίων ελληνικών, ρωμαϊκών, βυζαντινών και νεωτέρων νομισμάτων τα οποία επιλέχθηκαν για τη διεξαγωγή πειραμάτων καθαρισμού με τη χρήση laser:

1. Χάλκινο νόμισμα, Κέρκυρα, 229-48 π.Χ.. Παλιά Συλλογή-Διάφορα. Β: 7,368 γρ.

Sylloge Nummorum Graecorum, Grèce 3, Musée Numismatique d'Athènes, Collection Antoine Christomanos, première partie: Italie-Eubée, Athènes 2004., αρ. 622-623.

2. Χάλκινο νόμισμα, Κωνσταντίνος Β' (337-361 μ.Χ.), νομ. απροσδιόριστο, 353-360 μ.Χ. Παλιά Συλλογή – Διάφορα. Β: 2,194 γρ.

A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow, vol. V: Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 304, αρ. 15 (παρ.).

3. Φόλλις, Κωνσταντίνος Α' (307-337 μ.Χ.), νομ. Λυών, 313-317 μ.Χ. Παλιά Συλλογή-Διάφορα. Β: 2,635 γρ.

A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow, vol. V: Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 174, αρ. 86.

4. Αργυρό τετράδραχμο, Αθήνα, 390-295 π.Χ.. Π.Κ. αύξ. αρ. 35. Β: 17,253 γρ.

Sylloge Nummorum Graecorum, Deutschland, Staatliche Münzsammlung München, Heft 14:Attika, Megaris, Ägina, München 2002, αρ. 90-98.

5. Αντωνιανός, Γορδιανός Γ', 238-244 μ.Χ., Π.Κ. αύξ. αρ. 44. B: 3,590 γρ. A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. III: *Pertinax to Aemilian*, Oxford 1977, σ. 198, αρ. 55.

6. Αργυρός στατήρας, Κόρινθος, α' μισό 4^{ου} αιώνα π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 127. B: 8,444 γρ.

O.E. Ravel, *Les «Poulains» de Corinthe*, vol. II, London 1948, αρ. 1017.

7. Αργυρό τετράδραχμο, Φίλιππος Β' (359-336 π.Χ.), νομ. Αμφίπολις, 342/1-329/8 π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 202. B: 14,608 γρ.

G. Le Rider, *Le monnayage d'argent et d'or de Philippe II frappé en Macédoine de 359 à 294*, Paris 1977, σ. 112, αρ. 425a.

8. Χάλκινο νόμισμα, Λάρισα, α' μισό 4ου αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 189. B: 6,069 γρ.

E. Rogers, *The Copper Coinage of Thessaly*, London 1932, σ. 94-95, αρ. 284-285.

9. Χάλκινο νόμισμα, Λάρισα, α' μισό 4ου αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 189. B: 3,049 γρ.

E. Rogers, *The Copper Coinage of Thessaly*, London 1932, σ. 94-95, αρ. 284-285.

10. Αργυρό τετράδραχμο Αθηνών, 390-295 π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 35. B: 17,264 γρ.

Sylloge Nummorum Graecorum, Deutschland, Staatliche Münzsammlung München, Heft 14: Attika, Megaris, Ägina, München 2002, αρ. 90-98.

11. Χάλκινο νόμισμα, Urbs Roma, 330-337 μ.Χ., νομ. Κύζικος. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. B: 2,142 γρ.

A.S., Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. V: *Diocletian (reform) to Zeno*, Oxford 1982, σ. 280, αρ. 16.

12. Χαλκούς, Σικυών, 330-270 π.Χ. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. B: 1,810 γρ.

J.A.W. Waren, 'The autonomous bronze coinage of Sicyon. Part 1' *Numismatic Chronicle* 143 (1983), σ. 36-37, group 4.A2.

13. Χάλκινο νόμισμα, Πεπάρηθος, μέσα 4^{ου} αι. π.Χ. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. Β: 1,613 γρ.
E. Rogers, *The Copper Coinage of Thessaly*, London 1932, σ. 179-180, αρ. 559.

14. Φόλλις, Βυζαντινή αυτοκρατορία, 6^{ου} αι μ.Χ. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. Β: 9,640 γρ.

15. Άσπρο τραχύ από κράμα, Αλέξιος Α΄ Κομνηνός (1081-1118), νομ. Κωνσταντινούπολις, 1092-1118. Παλιά Συλλογή - Διάφορα. Β: 2,825 γρ.

M. Hendy, *Catalogue of the Byzantine Coins in the Dumbarton Oaks Collection and in the Whittemore Collection*, vol. 4: *Alexius I to Michael VIII*, part 1: *Alexius I to Alexius V (1081-1204)*, Washington D.C. 1999, σ. 226-227, αρ. 25a.1-25b.15.

16. Αργυρό δίδραχμο, Ρόδος, 4^{ου} αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 59. Β: 6,387 γρ.

Sylloge Nummorum Graecorum, Denmark, The Royal Collection of Coins and Medals, Danish National Museum, part 27: *Caria*, Copenhagen 1947, αρ. 736-738.

17. Αργυρή δραχμή, Ρόδος, α΄ μισό 2^{ου} αι. π.Χ.. Π.Κ. αύξ. αρ. 59. Β: 2,373 γρ

Sylloge Nummorum Graecorum, Denmark, The Royal Collection of Coins and Medals, Danish National Museum, part 27: *Caria*, Copenhagen 1947, αρ. 773-780 & 782-789 (παρ).

18. Αργυρή δραχμή, Ιστιαία, β΄ μισό 4^{ου} αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 182. Β: 3,338 γρ.

B.V. Head. *Catalogue of Greek Coins in the British Museum: Central Greece*, London 1884, σ. 125, αρ. 1.

19. Αργυρός στατήρ, Πραισός, Π.Κ. αύξ. αρ. 193. Β: 10,109 γρ.

J. Svoronos, *Numismatique de la Crète ancienne*, Bonn 1972, σ. 289, αρ. 26.

20. Αργυρή δραχμή, Αλέξανδρος Γ΄ (336-323 π.Χ.), νομ. Κολοφών, 310-301 π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 194. Β: 4,154 γρ.

M.J. Price, *The Coinage in the Name of Alexander the Great and Phillip Arrchideus*, London 1991, σ. 253, αρ. 1800.

21. Αργυρός στατήρ, Σικυών, τέλη 4^{ου} αι. π.Χ. Π.Κ. αύξ. αρ. 74. Β: 11,132 γρ.

22. Αντωνινιανός, Φίλιππος Α΄ Άραβας (244-249 μ.Χ.). Π.Κ. αύξ. αρ. 230 Β: 3,985 γρ.

Robertson, *Roman Imperial Coins in the Hunter Coin Cabinet, University of Glasgow*, vol. III: *Pertinax to Aemilian*, Oxford 1977; σ. 214, αρ.8.

23. Mezzo Ducato, Ενετική Δημοκρατία, Francesco Loredan (1752-1762). Π.Κ. αύξ. αρ. 165. Β: 11,148 γρ.

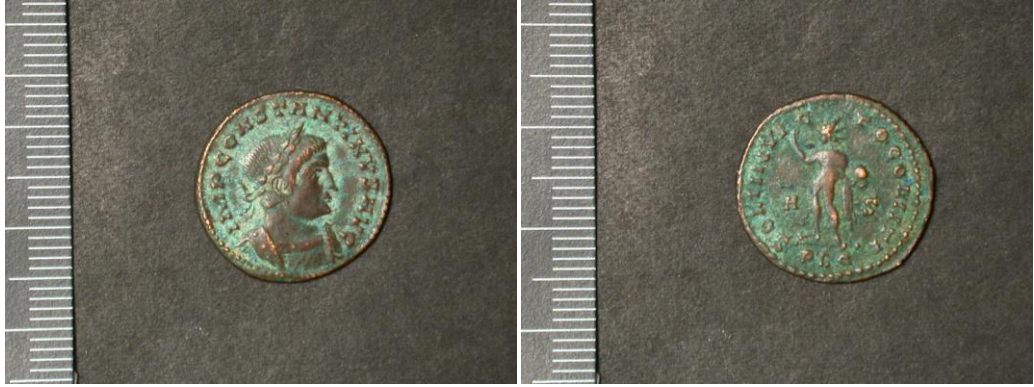
24. 20 Groschen, Αψβουργική Αυτοκρατορία, Ιωσήφ Γ΄, 1784. Π.Κ. αύξ. αρ. 165. Β: 6,186 γρ.



No 01



No 02



No 03



No 04



No 05



No 06



No 07



No 08



No 09



No 10



No 11



No 12



No 13



No 14



No 15



No 16



No 17



No 18



No 19



No 20



No 21



No 22



No 23



No 24

Βιβλιογραφία

1. Raymond A.Serway-Clement J.Moses-Curt A.Moyer «Σύγχρονη Φυσική» Μετάφραση και επιμέλεια :Ζουπάνος Γεώργιος, Λιαροκάκης Ευθύμιος, Παπαδόπουλος Σωφρόνιος, Ράπτης Κωνσταντίνος, Λαυρέντζος Αναστάσιος , Παπαδόγγονας Ιωάννης. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2004).
2. O. Svelto «Αρχές των lasers» δεύτερη έκδοση. Μετάφραση και επιμέλεια :Γ.Α Κουρουκλής-Α.Α Σεραφεινίδης, Εκδόσεις Συμμετρία (1986).
3. Α.Α Σεραφεινίδης «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ» Εκδόσεις Συμμετρία ,(1989)
4. «<http://el.wikipedia.org/wiki/Νεοδύμιο>»
5. «http://www.rp-photonics.com_doubling.html»
6. Sergei I. Asinimov, Victor A. Khoklov «Instabilities in laser- matter interaction», CRC Press,(1995).
7. «<http://www.latsi-foundation.org/files/meletes2009/05.report.pdf>»
8. «Nano Laser Operators handbook», version 1, (2004).
9. Y.S. Koh «Laser cleaning as a conservation technique for corroded metal artifacts», Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden ,(2006).
10. W.Koechner «Solid-State Laser Engineering»Sixth Edition, Springer Series in Optical Sciences, (2006),
11. Eugene Hecht «ΟΠΤΙΚΗ». Μετάφραση :Ιωάννης Ε.Σπυριδέλης, Σ.Σπυριδέλη, Α. Καπνίδου, ΕΣΠΙ,(1979).