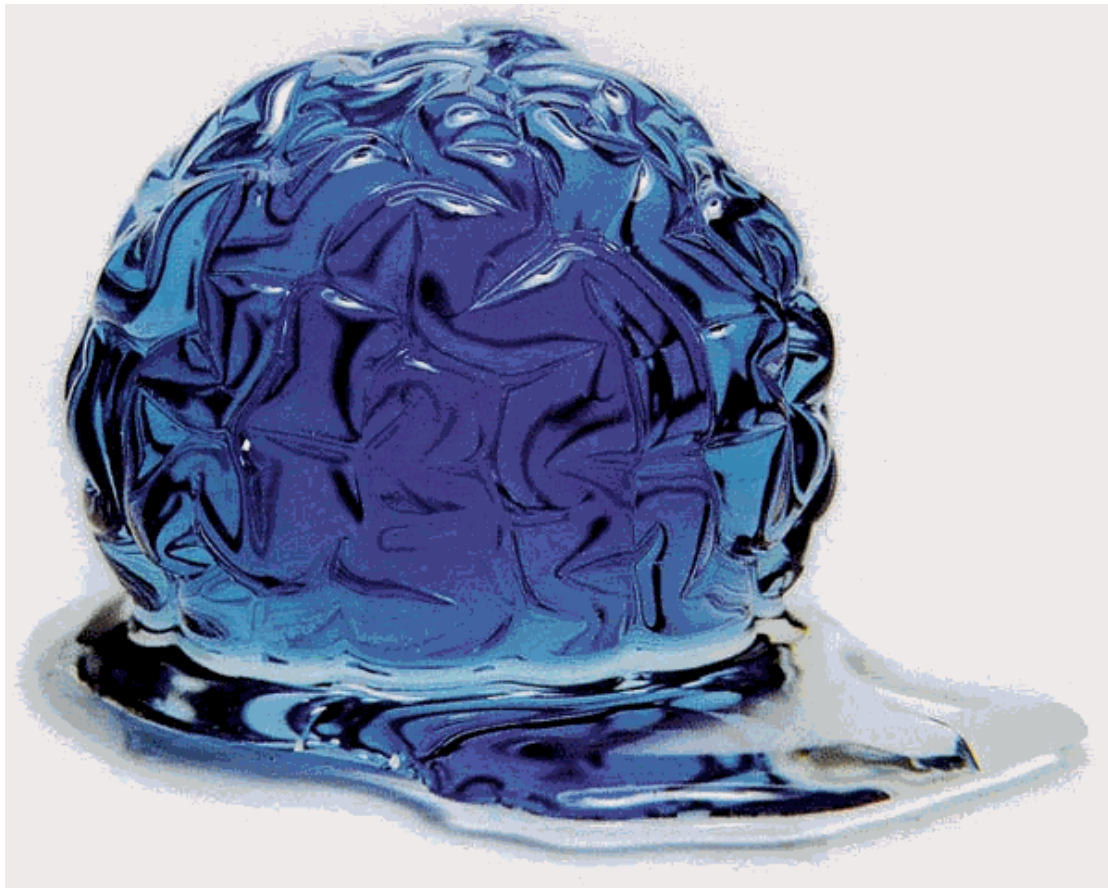


Ε.Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ"



ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΘ.ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ (Α.Μ.:02106692)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	5
2.1 Συστήματα ταξινόμησης για προηγμένα και έξυπνα υλικά	6
3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ	8
3.1 Τύποι και χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών	9
3.2 Τύπος 1 έξυπνων υλικών – μεταβολές ιδιότητας.....	13
3.2.1. Χρωμικά ή έξυπνα υλικά με μεταβολή χρώματος	13
3.2.2 Υλικά που αλλάζουν φάση.....	19
3.2.3 Αγωγή πολυμερή και άλλοι έξυπνοι αγωγοί.....	21
3.2.4 Ρεολογικά υλικά που αλλάζουν ιδιότητες-πεδιοεξαρθώμενα ρευστά.....	22
3.2.5 Τεχνολογίες υγρών κρυστάλλων.....	36
3.2.7 Άλλα υλικά τύπου I.....	36
3.3 Έξυπνα υλικά Τύπου 2 – ανταλλαγής ενέργειας	38
3.3.1 Υλικά που εκπέμπουν φως.....	39
3.3.2 Βασικά φαινόμενα ημιαγωγών.....	43
3.3.3 Φωβολταϊκά, Δίοδοι εκπομπής φωτός, κρυσταλλολυχνίες , θερμοηλεκτρικά	45
3.3.4 Πιεζοηλεκτρικές επιδράσεις και υλικά	46
3.3.5 Κράματα που έχουν μνήμη σχήματος.....	48
3.3.6 Πολυμερή με μνήμη σχήματος.....	54
4. ΚΛΑΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	55
4.1 Μεταφορές	55
4.1.1 Αεροπλοΐα	55
4.1.2 Αυτοκινητοβιομηχανία.....	64
4.1.3 Ναυσιπλοΐα.....	67
4.1.4 Σιδηρόδρομος.....	67
4.1.5 Εμπόδια ως προς την εκμετάλλευση.....	68
4.2 Κατασκευές.....	68
4.2.1 Εποπτεία ποιότητας κατασκευών.....	69
4.2.2 Έλεγχος Δονήσεων.....	70
4.2.4 Οδηγοί και εμπόδια	73
4.3 Σπορ και αναψυχή.....	74
4.3.1 Η τρέχουσα κατάσταση.....	75
4.3.2 Οι οδηγοί της αγοράς	76
4.3.3 Εμπόδια για την εκμετάλλευση.....	77
4.4 Κλάδος υγείας	77
4.4.1 Εξωτερικές βοηθητικές τεχνολογίες	78
4.4.2 Υλικά περιορισμένης επαφής.....	79

4.4.3 Συστήματα in vino.....	80
4.4.4 Διαγνωστική διάταξη ελέγχου συστημάτων	82
4.4.5 Εμπόδια στην εκμετάλλευση.....	82
5.ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	87
6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91

1.ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι όροι «έξυπνο», «λειτουργικό», «πολύ-λειτουργικό» και «ευφύες» χρησιμοποιούνται συχνά κατ'εναλλαγήν. Αυτό έχει λογική, ακόμα κι αν προκαλεί σύγχυση, για τους τρεις πρώτους όρους όμως ο τελευταίος σχεδόν με βεβαιότητα υπονοεί ένα βαθμό ευαισθησίας που δεν υπάρχει σε κανένα μη-βιολογικό σύστημα. Εύλογα δεν υπάρχει τέτοιο πράγμα όπως «το έξυπνο υλικό» από μόνο του, υπάρχουν μόνο υλικά που παρουσιάζουν ενδιαφέροντα εσωτερικά χαρακτηριστικά που μπορούν να γίνουν αντικείμενα εκμετάλλευσης στα συστήματα, ή τις δομές, που με τη σειρά τους παρουσιάζουν «έξυπνη συμπεριφορά». Αυτή η άποψη αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα όταν συγκρίνουμε π.χ. το φωτοχρωμικό υλικό που αλλάζει κατάσταση όταν εκτίθεται στο φως και ένα άλλο μέταλλο που αλλάζει φυσική κατάσταση όταν περνά από το σημείο τήξης ενώ υπόκειται σε θερμότητα. Το πρώτο συνήθως ορίζεται ως «έξυπνο» ενώ το δεύτερο όχι. (66)

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναγνωρίζει τα χαρακτηριστικά που ξεχωρίζουν τα έξυπνα υλικά από τα άλλα, και μετά συστηματικά μελετά πολλά από αυτά που χρησιμοποιούνται ευρέως. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε επίσης στα πεδία εφαρμογής των έξυπνων υλικών στην καθημερινότητα μας καθώς και στις προοπτικές εξέλιξής τους.

2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ

(65) Η ιστορία των υλικών είναι παράλληλη με την ύπαρξη και την πορεία του ανθρώπου στον κόσμο. Τα υλικά έχουν τεράστια επιρροή στον πολιτισμό και η πρόοδος στην επιστήμη των υλικών ενδυναμώνει την οικονομία και καθορίζει το βιοτικό επίπεδο που μπορεί να απολαμβάνει η κοινωνία.

Τον καθοριστικό ρόλο που παίζουν τα υλικά στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού φανερώνουν και οι ονομασίες Λίθινη, Χάλκινη, Σιδηρά περίοδος, που πήραν το όνομα τους από το περισσότερο προηγμένο προϊόν που χρησιμοποιούσαν οι άνθρωποι της εποχής. Παρόλο όμως που η επίδραση του αντίστοιχου υλικού είχε καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του πολιτισμού κάθε εποχής, ο ρυθμός ανάπτυξης σε όλη αυτή την μεγάλης διάρκειας περίοδο, ήταν πολύ μικρός, σε αντίθεση με το ρυθμό ανάπτυξης στον 20 αιώνα, που η επιστήμη και η τεχνολογία των υλικών κινήθηκε με ρυθμούς εκρηκτικούς. Στις μέρες μας αναπτύχθηκε μία νέα κατηγορία υλικών τα λεγόμενα «λειτουργικά», «αυτοπροσαρμοζόμενα» ή «ευφυή» υλικά. Στα υλικά αυτά μεγαλύτερη σημασία έχουν οι λειτουργίες/ενέργειες που μπορούν να εκτελέσουν παρά οι ονομαστικές τιμές κάποιων φυσικών ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών τους (όπως το μέτρο ελαστικότητας, η ειδική αντίσταση κτλ).

Η συγχώνευση των επιτευγμάτων της τεχνολογίας των υλικών με αυτήν της πληροφορίας, οδήγησε πρόσφατα στην ανάπτυξη των ευφυών υλικών ή συστημάτων. Ως ευφυή υλικά αναφέρονται συστήματα που έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους ή ορισμένα χαρακτηριστικά τους (σχήμα, ιδιοσυχνότητα, συντελεστής απόσβεσης δονήσεων και άλλα) με δεδομένο και ελεγχόμενο τρόπο, εξαιτίας μιας διέγερσης. Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν αισθητήρες και ενεργοποιητές, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κατάλληλο βρόχο ελέγχου (σχήμα 2). Έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν «ευφυώς» συγκεκριμένες λειτουργίες, αποκρινόμενα σε εξωτερικές διεγέρσεις. Με τους αισθητήρες αισθάνονται αλλαγές στο εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. επιβαλλόμενη τάση ή αλλαγή θερμοκρασίας) ή στη δομή τους (π.χ. ανάπτυξη ατελειών ή μεταβολή της κρυσταλλικής δομής) και αποκρίνονται σε αυτές με τους ενεργοποιητές, αλλάζοντας κάποια ιδιότητά τους προς ορισμένη κατεύθυνση (π.χ. δυσκαμψία, σχήμα, ικανότητα απόσβεσης).

Εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες των ευφυών υλικών μπορούν να σχεδιαστούν κατασκευές που να αξιοποιούνται στα λειτουργικά και δομικά τους όρια χωρίς τον κίνδυνο να τα ξεπεράσουν. Επιπλέον, θα πληροφορούν τους χρήστες τους για όλη την ιστορία λειτουργίας τους, όπως για τη δημιουργία αστοχιών, το βαθμό ανάπτυξής τους και τα σημεία που συμβαίνουν, ενώ ταυτόχρονα θα έχουν τη δυνατότητα να αντιδράσουν σε επικίνδυνες για αυτά συνθήκες, όπως υπερβολικές δονήσεις, ή να αυτοεπιδιορθωθούν. Ένα τέλειο ευφές σύστημα είναι αυτό που η πηγή της απαραίτητης ενέργειας (η κινούσα δύναμη) για να λάβει χώρα η αντίδραση στο εξωτερικό ερέθισμα είναι ενσωματωμένη στο ίδιο σύστημα και οι λειτουργίες του εκτελούνται από δομικά του στοιχεία. Μπορούμε να προσομοιάσουμε τα ευφή συστήματα με βιολογικά. Οι αισθητήρες λειτουργούν σαν το νευρικό σύστημα, οι ενεργοποιητές σαν το μυϊκό και ο βρόγχος ελέγχου σαν τον εγκέφαλο ενός οργανισμού που ελέγχει το όλο σύστημα.

Στη βιβλιογραφία συστήματα που είναι σε θέση να εκτελούν λειτουργίες αναφέρονται με διάφορους όρους όπως «έξυπνο», «ευφές», «αυτοπροσαρμοζόμενο» και «σοφό». Γενικά αυτοπροσαρμοζόμενο αναφέρεται το σύστημα που αισθάνεται ερεθίσματα από το περιβάλλον του, έξυπνο αυτό που αντιδρά στα ερεθίσματα με συγκεκριμένο τρόπο, ευφές αυτό που η απαραίτητη ενέργεια για να λάβει χώρα η αντίδραση στο εξωτερικό ερέθισμα είναι ενσωματωμένη στο σύνθετο και σοφό αυτό που μπορεί να με την πάροδο του χρόνου να αποφασίζει τις αντιδράσεις του.



Σχήμα 1: «Εξυπνο» σύστημα. Το σημείο τομής των τριών κύκλων ορίζει την ύπαρξη των ευφυών υλικών.

(67)2.1 Συστήματα ταξινόμησης για προηγμένα και έξυπνα υλικά

Η απαραίτητη πληροφόρηση για την εφαρμογή των νέων υλικών μπορεί να είναι διαθέσιμη, αλλά δεν υπάρχει ακόμη μέθοδος για την εφαρμογή της στα πλαίσια του σχεδιασμού. Η εμμονή στην τρέχουσα μέθοδο και η διαχείριση των έξυπνων υλικών σαν

τεχνητά υλικά σε ένα σύστημα ταξινόμησης είναι ξεκάθαρα προβληματική. Ακόμη κι αν ένα έξυπνο υλικό θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν αντικαταστάτης ενός συνηθισμένου υλικού όσον αφορά πολλά στοιχεία και εφαρμογές, η έμφυτη «ενεργή» συμπεριφορά τους τα καθιστά επίσης δυνητικά εφαρμόσιμα και στην τεχνολογία. Για παράδειγμα, το ηλεκτροχρωμικό γυαλί μπορεί ταυτόχρονα να είναι ένα υλικό τοποθέτησης υαλοπινάκων, ένα παράθυρο, ένα παραβάν, ένα σύστημα ελέγχου φωτός ή ένα αυτοματοποιημένο σύστημα σκίασης. Εν τοιαύτη περιπτώσει, στην πρότυπη ταξινόμηση το υλικό θα ενέπιπτε σε αρκετές μεμονωμένες κατηγορίες καθιστώντας ιδιαίτερα δύσκολο για τον αρχιτέκτονα την εξέταση του πολυμορφικού χαρακτήρα και της επίδοσης του υλικού. Επιπλέον, πολλές από τις νέες τεχνολογίες είναι νεοεισαχθείσες στην εφαρμογή, και συνεπώς δεν έχουν θέση στις συμβατικές περιγραφές.

Ίσως το μεγαλύτερο μέρος της συναρμολόγησης, τότε, είναι οι ταξινομήσεις των έξυπνων υλικών να γίνεται σε πολλά στρώματα – το ένα στρώμα να χαρακτηρίζει το υλικό σύμφωνα με τη φυσική του συμπεριφορά (τι κάνει) και το άλλο στρώμα να χαρακτηρίζει το υλικό σύμφωνα με τη φαινομενική του συμπεριφορά (το αποτέλεσμα της φυσικής του συμπεριφοράς). Σπάνια βρίσκει κάποιος κείμενα για τη φαινομενική συμπεριφορά, πολύ λιγότερο δε, έχει εξεταστεί στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής. Μπορούμε να ταξινομήσουμε αυτά τα αποτελέσματα στα πλαίσια του πεδίου δράσης τους, η οποία θα μπορούσε να εξεταστεί σε αναλογία με την πρόθεση ενός αρχιτέκτονα – τί θέλουμε να κάνει το υλικό; Τα έξυπνα υλικά που χρησιμοποιούμε μπορούν να παράγουν άμεσα αποτελέσματα στο πεδίο της ενέργειας (οπτικής, θερμικής και ακουστικής), ή μπορούν να παράγουν έμμεσα αποτελέσματα στα συστήματα (δημιουργία ενέργειας, μηχανικός εξοπλισμός). Αυτή η προσέγγιση, λειτουργικά, είναι πολύ χρήσιμη στο σχεδιαστή σε ό,τι αφορά την αποτίμηση της χρήσης των έξυπνων υλικών και των συστημάτων σε σχέση με το σχεδιασμό των διαφόρων ειδών ατμόσφαιρας.

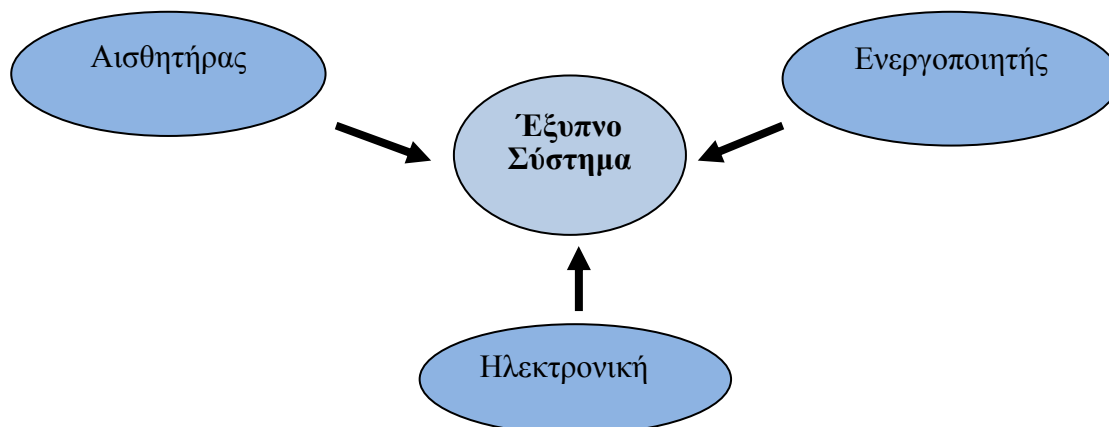
Όμως, θα πρέπει επίσης να αναγνωρίσουμε, ότι υπάρχει και αξία και πραγματικότητα στην εξέταση του τρόπου που αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται σταθερά στην εξυπηρέτηση της δημιουργίας όλο και περισσότερο περίτεχνων κατασκευών, συναρμολογήσεων και καταστάσεων που εσωτερικά είναι πολυμορφικά ή αλλιώς

παρέχουν πιο περίτεχνες αντιδράσεις από αυτές που μπορούν να παρέχουν τα απλά υλικά. Αυτή είναι η προσέγγιση των λειτουργιών/συστημάτων.

3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ(66)

Το κλειδί του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος του 21^{ου} αιώνα θα είναι η ανάπτυξη των προϊόντων με αυξανόμενα επίπεδα λειτουργικότητας

Τα «Εξυπνα Υλικά» ορίζονται σαν υλικά που διαμορφώνουν μέρος ενός έξυπνου δομικού συστήματος (σχήμα 3) που έχει τη δυνατότητα να έχει την αίσθηση του περιβάλλοντα χώρου και τις επιδράσεις αυτού, και αν είναι πραγματικά έξυπνο το σύστημα, να αντιδρά σ' αυτόν τον εξωτερικό παράγοντα μέσω ενός μηχανισμού ελέγχου. Συχνά, η λειτουργία του αισθητήρα από μόνη της θεωρείται επαρκής για να κατασταθεί η «οξύνοια» και συνεπώς αυτό περιλαμβάνεται επίσης σ' αυτήν τη μελέτη.



Σχήμα 2: Ένα έξυπνο σύστημα μπορεί να έχει αίσθηση και να ανταποκρίνεται στο περιβάλλον του.

Αυτή η αναφορά συμπληρώνει άλλες πρόσφατες προβλεπτικές μελέτες που περιλαμβάνουν και τα Λειτουργικά Υλικά, εστιάζοντας περισσότερο στις εσωτερικές ιδιότητες των υλικών και την επεξεργασία, τους αισθητήρες και τη νανο-τεχνολογία. Αυτά τα θέματα καλύπτουν ένα υψηλά αλληλεπιδραστικό «διάστημα τεχνολογίας» (αντιπροσωπεύεται στο σχήμα 2) μαζί με άλλες τεχνολογίες γενετικής πλατφόρμας όπως η βιομημητική.

Υπάρχει ανάγκη για εξέλιξη της πρακτικής κατανόησης των υπαρχουσών τεχνολογιών που βασίζονται στα υλικά, που είναι φτιαγμένες για τον συγκεκριμένο πελάτη και τις ανάγκες της αγοράς. Άρα εδώ παίρνουμε μια προσέγγιση που είναι προσανατολισμένη στον κλάδο της αγοράς που σκοπό έχει την αναγνώριση της τρέχουσας κατάστασης και του πιθανού αντίκτυπου των τεχνολογιών των «έξυπνων υλικών», τους οδηγούς και τα όρια της εκμετάλλευσής τους .

3.1 Τύποι και χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών(67)

Θεμελιώδη χαρακτηριστικά

Αυτό το κεφάλαιο, καταρχάς, αναγνωρίζει τα χαρακτηριστικά που ξεχωρίζουν τα έξυπνα υλικά από τα άλλα, και μετά συστηματικά μελετά πολλά από αυτά που χρησιμοποιούνται ευρέως. Ξεκινάμε σημειώνοντας ότι τα πέντε θεμελιώδη χαρακτηριστικά που ορίζονταν σαν ενδεικτικά διαχωρισμού ενός έξυπνου υλικού από τα πιο παραδοσιακά υλικά που χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική ήταν η παροδικότητα, η επιλεκτικότητα, η αμεσότητα, η αυτό-δραστηριοποίηση και η ευθύτητα. Αν εφαρμόσουμε αυτά τα χαρακτηριστικά στην διάταξη αυτών των υλικών τότε μπορούμε να τα ομαδοποιήσουμε σε:

1. Δυνατότητα μεταβολής ιδιότητας
2. Δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας
3. Διακριτό μέγεθος/θέση
4. Αναστρεψιμότητα

Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν δυνητικά να γίνουν αντικείμενα εκμετάλλευσης είτε για τη βελτιστοποίηση της ιδιότητας του υλικού προκειμένου να ταιριάζει καλύτερα στις συνθήκες παροδικής εισροής ή για τη βελτιστοποίηση συγκεκριμένων συμπεριφορών προκειμένου να διατηρηθούν σταθερές οι συνθήκες στο περιβάλλον.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών καθορίζονται από αυτά τα ενεργειακά πεδία και τον μηχανισμό μέσα από τον οποίο μετατρέπεται αυτή η εισροή ενέργειας σε ένα υλικό. Αν ο μηχανισμός επηρεάζει την εσωτερική ενέργεια ενός υλικού μέσω της

μεταβολής είτε της μοριακής δομής του υλικού είτε της μικροδομής, τότε η εισροή έχει σαν αποτέλεσμα την *μεταβολή της ιδιότητας* ενός υλικού. Αν ο μηχανισμός αλλάζει την κατάσταση της ενέργειας της σύνθεσης του υλικού, αλλά δεν αλλάζει το υλικό, τότε τα αποτελέσματα της εισροής είναι μια *ανταλλαγή ενέργειας* από τη μία μορφή στην άλλη.

Ένας απλός τρόπος διαφοροποίησης μεταξύ των δύο μηχανισμών είναι ότι για τη μεταβολή του τύπου της ιδιότητας, το υλικό απορροφά την εισροή ενέργειας και υφίσταται μια μεταβολή, ενώ για την ανταλλαγή τύπου ενέργειας, το υλικό παραμένει το ίδιο όμως η ενέργεια υφίσταται μεταβολή. Θα αναλυθούν και οι δύο αυτοί μηχανισμοί με δεδομένο ότι λειτουργούν σε μικρή βαθμίδα, επειδή τίποτε περισσότερο δεν θα επηρεαστεί παρά μόνο το μόριο, και επιπρόσθετα, πολλές από τις ανταλλαγές ενέργειας λαμβάνουν χώρα σε ατομικό επίπεδο. Συνεπώς, δεν υπάρχει δυνατότητα να διαπιστωθεί η φυσική συμπεριφορά στη βαθμίδα που προκύπτει.

Μεταβολή ιδιότητας

Η τάξη των έξυπνων υλικών με το μεγαλύτερο αριθμό των πιθανών εφαρμογών στο πεδίο της αρχιτεκτονικής είναι η τάξη της μεταβολής ιδιότητας. Αυτά τα υλικά υφίστανται μια μεταβολή στην ιδιότητα ή στις ιδιότητες – χημική, θερμική, μηχανική, μαγνητική, οπτική ή ηλεκτρική – ανταποκρινόμενα στη μεταβολή των συνθηκών τους περιβάλλοντος χώρου του υλικού. Οι συνθήκες του περιβάλλοντος μπορεί να είναι οι περιρρέουσες ή μπορεί να παραχθούν μέσω μιας ευθείας ενεργειακής εισροής. Σ' αυτήν την τάξη συμπεριλαμβάνονται τα υλικά που αλλάζουν χρώμα, όπως τα θερμοχρωμικά, ηλεκτροχρωμικά, φωτοχρωμικά, κ.λ.π. στα οποία η εσωτερική επιφάνεια ή η μοριακή φασματική απορροφητικότητα της ορατής στο μάτι ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετατρέπεται μέσω μιας περιβαλλοντικής αλλαγής (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία επιφάνειας) ή μιας ευθείας εισροής ενέργειας στο υλικό (εναλλασσόμενο ρεύμα, τάση).

Ανταλλαγή ενέργειας

Η επόμενη τάξη των υλικών που αναμένεται να έχει μεγάλη διείσδυση στο πεδίο της αρχιτεκτονικής είναι η τάξη της ανταλλαγής ενέργειας. Αυτά τα υλικά μεταβάλλουν την εισροή ενέργειας σε μια άλλη μορφή προκειμένου να παραχθεί παραγωγή ενέργειας

σύμφωνα με τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής. Παρόλο που η αποτελεσματικότητα της μετατροπής της ενέργειας για τα έξυπνα υλικά όπως τα φωτοβολταϊκά και τα θερμοηλεκτρικά είναι παραδοσιακά πολύ μικρότερη για τις περισσότερες συμβατικές τεχνολογίες, η δυναμική χρησιμότητα της ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερη. Για παράδειγμα, η άμεση σχέση μεταξύ της εισροής ενέργειας και της παραγωγής ενέργειας καθιστά πολλά από τα έξυπνα υλικά που ανταλλάσσεται ενέργεια, συμπεριλαμβανομένων των πιεζοηλεκτρικών, πυροηλεκτρικών και φωτοβολταϊκών, σαν εξαιρετους περιβαλλοντικούς αισθητήρες. Η μορφή της παραγωγής ενέργειας μπορεί περαιτέρω να προσθέσει άμεσες δυνατότητες ενεργοποίησης όπως αυτές που επί του παρόντος παρουσιάζονται από τα ηλεκτροσυστολικά, χημιοφωτοβόλα και τα αγώγιμα πολυμερή.

Αναστρεψιμότητα/κατευθυντήρια γραμμή

Πολλά από τα υλικά στις δύο παραπάνω τάξεις παρουσιάζουν επίσης είτε το χαρακτηριστικό της αναστρεψιμότητας ή της δι-κατευθυντήριας γραμμής. Πολλά από τα υλικά που μετατρέπουν ηλεκτρισμό μπορούν να αντιστρέψουν τις μορφές εισροή και παραγωγής ενέργειας. Για παράδειγμα, πολλά πιεζοηλεκτρικά υλικά μπορούν να παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με μια εφαρμοσμένη πίεση ή μπορούν να παραμορφωθούν με εφαρμοσμένο εναλλασσόμενο. Υλικά με ιδιότητα αλλαγής διπλής κατεύθυνσης ή συμπεριφορά ανταλλαγής ενέργειας συχνά μπορούν να επιτρέπουν περαιτέρω εκμετάλλευση της μεταδοτικής αλλαγής περισσότερο από εισροή και παραγωγή ενεργειών. Τα χαρακτηριστικά της απορρόφησης ενέργειας της μεταβολής φάσης των υλικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την σταθεροποίηση του περιβάλλοντος ή για την απελευθέρωση ενέργειας στο περιβάλλον, ανάλογα με την κατεύθυνση που λαμβάνει χώρα η μεταβολή φάσης. Η δι-κατευθυντήρια φύση των κραμάτων μπορεί να γίνει αντικείμενο εκμετάλλευσης για να παραχθούν πολλαπλές ή ανταλλάξιμες αποδόσεις, γεγονός που επιτρέπει στο υλικό να αντικαταστήσει συστατικά που απαρτίζονται από πολλά μέρη.

Μέγεθος/θέση

Ανεξάρτητα από την τάξη του έξυπνου υλικού, ένα από τα πιο θεμελιώδη χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιεί από τα παραδοσιακά υλικά είναι το διακριτό τους μέγεθος και η ευθεία δράση του υλικού. Ένα συστατικό ή στοιχείο που περιλαμβάνει ένα έξυπνο υλικό δεν θα είναι μόνο πολύ μικρότερο από μια παρόμοια κατασκευή που είναι φτιαγμένη από πιο παραδοσιακά υλικά αλλά θα έχει μικρότερες απαιτήσεις για υποστήριξη υποδομής. Το συστατικό που προκύπτει μπορεί μετά να τοποθετηθεί στην πιο αποτελεσματική θέση. Το μικρότερο μέγεθος σε συνδυασμό με την ευθύτητα της μεταβολής ιδιότητας ή της ανταλλαγής ενέργειας εξυπηρετεί αυτά τα υλικά ώστε να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σαν αισθητήρες: είναι λιγότερο πιθανό να αναμειχθούν με το περιβάλλον που εκτιμούν και είναι πολύ λιγότερο πιθανό να χρειαστούν προσαρμογές ένδειξης.

Χαρακτηρισμοί τύπου

Γι 'αυτήν την ανάλυση θα διακρίνουμε μεταξύ δύο πρωταρχικών τάξεων έξυπνων υλικών που περιγράφηκαν παραπάνω αποκαλώντας τα σαν υλικά Τύπου 1 και Τύπου 2.

- Τύπος 1 – ένα υλικό που αλλάζει μία από τις ιδιότητές του (χημική, μηχανική, οπτική, ηλεκτρική, μαγνητική ή θερμική) ανταποκρινόμενο σε μια αλλαγή στις συνθήκες του περιβάλλοντός του και αυτό το κάνει χωρίς την ανάγκη εξωτερικού ελέγχου.
- Τύπος 2 – ένα υλικό ή εξάρτημα που μεταφέρει ενέργεια από τη μία μορφή στην άλλη προκειμένου να επιτύχει την επιθυμητή τελική κατάσταση.

Είναι ιδιαίτερα σχετική εδώ, η παρατήρηση σε ό,τι αφορά τη σύγχυση μεταξύ του όρου «υλικό». Πολλές από τις περιγραφές που δίνονται παρακάτω για αυτούς τους τύπους των έξυπνων υλικών τείνουν να είναι αυτό που καλύτερα περιγράφεται σαν προϊόντα ή εξαρτήματα δεδομένου ότι είτε αποτελούνται από πολλαπλούς τύπους μεμονωμένων υλικών ή υποθέτουν μια μορφή προϊόντος. Για παράδειγμα, ο ηλεκτροχρωμισμός είναι ένα φαινόμενο, όμως τα ηλεκτροχρωμικά «υλικά», σταθερά, περιλαμβάνουν πολλές επιστρώσεις διαφόρων υλικών που εξυπηρετούν συγκεκριμένες λειτουργίες οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα στο φαινόμενο να κατασταθεί πρόδηλο. Παρόλα αυτά, η κοινή χρήση από τους μηχανικούς και τους σχεδιαστές θα αναφερόταν ευρέως σ' ένα τεχνητό

προϊόν αυτού του τύπου σαν ένα έξυπνο υλικό, κυρίως επειδή αυτός ο τρόπος είναι γνωστός στην πράξη.

3.2 Τύπος 1 έξυπνων υλικών – μεταβολή ιδιότητας

3.2.1. Χρωμικά ή έξυπνα υλικά με μεταβολή χρώματος

Θεμελιώδη χαρακτηριστικά των χρωμικών

Μια τάξη έξυπνων υλικών που είναι πάντοτε ελκυστικά σε κάθε σχεδιαστή είναι αυτή που αποκαλείται «ομάδα υλικών με ικανότητα μεταβολής χρώματος» και περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Φωτοχρωμικά – υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται στο φως
- Θερμοχρωμικά – υλικά που αλλάζουν χρώμα λόγω της μεταβολής θερμοκρασίας
- Μηχανοχρωμικά – υλικά που αλλάζουν χρώμα λόγω της ισχύς που επιβάλλεται και/ή τις παραμορφώσεις.
- Χημοχρωμικά - υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένα χημικά περιβάλλοντα.
- Ηλεκτροχρωμικά – υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εφαρμόζεται τάση ρεύματος. Οι τεχνολογίες που σχετίζονται περιλαμβάνουν τα υγρά κρύσταλλα και τα εξαρτήματα αιωρούμενου σωματιδίου που αλλάζουν χρώμα ή διαφάνειες όταν ενεργοποιούνται ηλεκτρικά.

Αυτά συνθέτουν μια κατηγορία υλικών στην οποία μια αλλαγή στην εξωτερική πηγή ενέργειας παράγει μια αλλαγή στην ιδιότητα στις οπτικές ιδιότητες ενός υλικού – την απορροφητικότητά του, την αντανακλαστικότητά του ή διασπορά του. Τα υλικά λοιπόν που λέγονται ότι αλλάζουν χρώμα στην πραγματικότητα δεν αλλάζουν. Αλλάζουν τις οπτικές ιδιότητές τους κάτω από διαφορετικά εξωτερικά ερεθίσματα (π.χ. θέρμανση, φως, ή το χημικό περιβάλλον), το οποίο συχνά εκλαμβάνεται σαν αλλαγή χρώματος. Παραπάνω αναφέρθηκε ότι το πώς εκλαμβάνεται το χρώμα εξαρτάται από εξωτερικούς παράγοντες (το φως και τη φύση του ανθρώπινου ματιού) και από εσωτερικούς

παράγοντες, όπως αυτοί προαναφέρθηκαν. Η κατανόηση λοιπόν αυτών των υλικών είναι πιο πολύπλοκη από το να λέγεται απλά ότι «αλλάζουν χρώμα».

Οι εξωτερικοί παράγοντες, όπως έχει προαναφερθεί, που επηρεάζουν την αντίληψη του χρώματος είναι πολλοί. Το χρώμα είναι πρωταρχικά μια ιδιότητα του φωτός. Κάθε στιγμιαίο φως μπορεί να χαρακτηριστεί από τη φασματική διανομή του ηλεκτρομαγνητικού του μήκους κύματος. Οι επιφάνειες μπορούν μόνο να αντανακλούν, απορροφούν ή να μεταδίδουν τα μήκη κύματος που είναι διαθέσιμα – και ως εκ τούτου είναι πάντοτε αφαιρετικές. Το ανθρώπινο μάτι είναι επίσης μια αφαιρετική επιφάνεια, όμως αυτό το κάνει συγκριτικά. Ως εκ τούτου, ανάλογα με τις κατανομές φάσματος και έντασης μέσα στο οπτικό πεδίο, το χρώμα μπορεί να είναι *σχετικό* μέσα στα πλαίσια του ανθρώπινου ματιού.

Το γεγονός ότι το χρώμα που παρατηρείται σε ένα αντικείμενο εξαρτάται επίσης από την εσωτερική οπτική ποιότητα του υλικού είναι άμεσου ενδιαφέροντος. Στη μελέτη που έχει ήδη γίνει για τις θεμελιώδεις ιδιότητες του υλικού σημειώθηκε ότι οι ατομικές δομές περιλαμβάνουν αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια. Δεδομένου ότι το φως περιλαμβάνει πρωταρχικά ενεργειακά ερεθίσματα, αντιδρά με τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που περιέχονται σε ένα υλικό. Ανάλογα με την κρυσταλλώδη ή μοριακή δομή ενός υλικού, το φως που αποπειράται να διαπεράσει μπορεί να υποστεί καθυστέρηση, αποπροσανατολισμό, απορρόφηση ή μετατροπή σε άλλου τύπου ενέργεια. Η ακριβής κρυσταλλώδη ή μοριακή δομή του υλικού θα καθορίσει ποια από αυτές τις πιθανές συμπεριφορές θα λάβει χώρα, και με τη σειρά του θα καθορίσει ποια μήκη κύματος του φωτός μεταβάλλονται με κάποιο τρόπο (που με τη σειρά του επηρεάζει την αντίληψη του χρώματος του υλικού). Είναι πολύ ενδιαφέρον το γεγονός ότι η μοριακή δομή που συναντάται πρώτα στην *επιφάνεια* ενός υλικού είναι αυτή που καθορίζει την επακόλουθη συμπεριφορά. Τούτου δοθέντος οι λεπτές μεμβράνες, οι επικαλύψεις και τα χρώματα θα καθορίσουν κατά κύριο λόγο την ανταπόκριση στο φως, πολύ περισσότερο από το υπόστρωμα.

Στην περίπτωση του έξυπνου υλικού με προφανείς χρωματικές μεταβολές στις ιδιότητές του, οι εσωτερικές οπτικές ιδιότητες του υλικού – απορροφητικότητα, αντικατοπτρισμός

διασπορά - είναι σχεδιασμένες να αλλάζουν με την εισροή της εξωτερικής ενέργειας. Πρωταρχικά, η εισροή ενέργειας παράγει μια τροποποιημένη μοριακή δομή ή έναν προσανατολισμό στην επιφάνεια του υλικού πάνω στο οποίο πέφτει το φως. Η δομή εξαρτάται από τη χημική σύνθεση καθώς επίσης και τη διάταξη του κρυστάλλου ή του μορίου. Αυτή η εξωτερική ενέργεια μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές (π.χ. θέρμανση, ή ακτινοβολούμενη ενέργεια που συσχετίζεται με το φως), όμως σε κάθε μια περίπτωση προκαλεί κάποια αλλαγή στις εσωτερικές δομές της επιφάνειας του υλικού αντιδρώντας με τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που βρίσκονται εκεί. Αυτές οι αλλαγές με τη σειρά τους επηρεάζουν την απορροφητικότητα του υλικού ή τα χαρακτηριστικά αντικατοπτρισμού και έτσι και το χρώμα που παρατηρείται. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να λαμβάνουν χώρα σε όλο το φάσμα ή να είναι επιλεκτικές ως προς το φάσμα. Αυτό που προκαλεί ενδιαφέρον είναι ότι οι αλλαγές είναι αναστρέψιμες. Όταν το εξωτερικό ερέθισμα ενέργειας εξαλείφεται, η τροποποιημένη δομή επανέρχεται στην προτέρα κατάσταση.

Οι κύριες κατηγορίες των έξυπνων υλικών που αλλάζουν χρώμα περιγράφονται με βάση τη φύση της ενέργειας που εισρέει η οποία προκαλεί τη μεταβολή στην ιδιότητα, και περιλαμβάνει *φωτοχρωμικά, ηλεκτροχρωμικά, θερμοχρωμικά, μηχανοχρωμικά και χημιοχρωμικά.*

α) Φωτοχρωμικά υλικά

Τα φωτοχρωμικά υλικά απορροφούν ακτινοβολούμενη ενέργεια που προκαλεί μια αναστρέψιμη αλλαγή του μοναδικού χημικού δείγματος μεταξύ δύο διαφορετικών καταστάσεων ενέργειας, όπου και οι δύο έχουν διαφορετικά φάσματα απορροφητικότητας. Τα φωτοχρωμικά υλικά απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στην υπεριώδη περιοχή για να παραχθεί μια εσωτερική μεταβολή της ιδιότητας. Ανάλογα με την τυχαία ενέργεια, το υλικό εναλλάσσεται μεταξύ των αντανακλαστικά και απορροφητικά επίλεκτων μερών του ορατού φάσματος. Το μόριο που χρησιμοποιείται για τις φωτοχρωμικές βαφές εμφανίζεται άχρωμο στην μη-ενεργοποιημένη μορφή του. Όταν εκτίθεται σε φωτόνια ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος, η μοριακή δομή μετατρέπεται σε μια διεγερμένη κατάσταση, και έτσι ξεκινά να αντικατοπτρίζει σε μεγαλύτερα μήκη κύματος στο ορατό φάσμα. Όταν φεύγει η

υπεριώδης πηγή (UV), το μόριο θα επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Μία αντιπροσωπευτική φωτοχρωμική μεμβράνη, για παράδειγμα, μπορεί να είναι αναγκαστικά διαφανής και άχρωμη μέχρι να εκτεθεί στο φως του ήλιου, όταν η μεμβράνη ξεκινά επιλεκτικά να αντικατοπτρίζει ή να μεταδίδει συγκεκριμένα μήκη κύματος (όπως το διαφανές μπλε). Η έντασή του εξαρτάται από την ευθύτητα της έκθεσης. Επανέρχεται στην αρχική του άχρωμη κατάσταση στο σκοτάδι, όταν δεν υπάρχει το φως του ήλιου.

Τα φωτοχρωμικά υλικά χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Τα βλέπουμε να χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ πεδίο καταναλωτικών προϊόντων, όπως τα γυαλιά ηλίου που αλλάζουν το χρώμα τους. Στην αρχιτεκτονική, έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες επεξεργασίες παραθύρων ή προσόψεων, όχι πάντοτε με μεγάλη επιτυχία, προκειμένου να ελέγχουν την ηλιακή ωφέλεια και να μειώσουν την αντηλία. Σε Γενικές γρΜΜΕς, αυτές οι εφαρμογές δεν έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές λόγω της βραδύτητας της αντίδρασης και των προβλημάτων ως προς το κέρδος της θερμότητας.

β) Θερμοχρωμικά υλικά

Τα θερμοχρωμικά υλικά απορροφούν θερμότητα, που οδηγεί σε μια χημική αντίδραση ή μεταβατικότητα φάσης που έχουν προκληθεί θερμικά. Έχουν ιδιότητες που υφίστανται ανατρέψιμες αλλαγές όταν η περιρρέουσα θερμοκρασία αλλάζει. Οι εκδοχές της υγρής κρυσταλλικής μεμβράνης μπορεί να σχηματισθεί ώστε να αλλάζει θερμοκρασία από -25 σε $+250$ ° F (από -30 σε 120 ° C) και μπορεί να είναι τόσο ευαίσθητο ώστε να εντοπίσει αλλαγές τόσο μικρές όσο στους 0.2 ° F.

Τα θερμοχρωμικά υλικά βγαίνουν σε πολλές μορφές, συμπεριλαμβανομένων των υγρών κρυσταλλικών μορφών που χρησιμοποιούνται σε θερμοχρωμικές μεμβράνες και στις λευκοβαφές που χρησιμοποιούνται σε πολλές άλλες εφαρμογές. Οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως δοκιμαστές μπαταριών, θερμομέτρα κ.ο.κ. Το ευρέως χρησιμοποιούμενο θερμοόμετρο που τοποθετείται στο μέτωπο του ανθρώπου, για παράδειγμα, είναι φτιαγμένο από θερμοχρωμικά υλικά που είναι σχεδιασμένα να είναι ευαίσθητα σε συγκεκριμένα επίπεδα θερμοκρασίας. Μια απλή οπτική συσκευή

βαθμονόμησης δείχνει το επίπεδο της θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο χρώμα.

Στο αρχιτεκτονικό σχέδιο καθώς και στο σχεδιασμό επίπλων, η φαινομενικά ακατάπαυστη αναζήτηση της παρουσίας της παρελθούσας παρουσίας ενός προσώπου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία ή σε ένα έπιπλο, βρήκε καινούργιο εργαλείο έκφρασης. Πολλά από τα έπιπλα και καταναλωτικά αγαθά του Jurgen Mayer H.'s, για παράδειγμα είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία σώματος και εμφανίζουν χρωματικό αποτύπωμα του ανθρώπου που μόλις κάθισε στο έπιπλο. Το σημάδι εξαφανίζεται με το χρόνο.

Η έννοια του να χρησιμοποιούμε θερμοχρωμικά υλικά στην εξωτερική πλευρά ενός κτιρίου ανέκαθεν προξενούσε παρόμοιο ενδιαφέρον. Δυστυχώς, ένα πολύ μεγάλο πρόβλημα με τη χρήση των επί του παρόντος διαθέσιμων θερμοχρωμικών χρωμάτων στην εξωτερική πλευρά είναι ότι η έκθεση στα υπεριώδη μήκη κύματος στο φως του ήλιου μπορεί να προκαλέσει την υποβάθμιση του υλικού και την απώλεια των δυνατοτήτων μεταβολής χρώματος.

γ) Μηχανοχρωμικά και χημιοχρωμικά υλικά

Τα μηχανοχρωμικά έχουν τροποποιήσει τις οπτικές τους ιδιότητες όταν το υλικό υπόκειται σε πίεση και παραμορφώσεις που έχουν σχέση με εξωτερικές δυνάμεις. Πολλά πολυμερή είναι σχεδιασμένα να παρουσιάζουν τέτοιου είδους ιδιότητες. Η παλιά οικουσκευή για αποτύπωση συλλογής κειμένου πάνω σε πλαστικές λωρίδες κάνει χρήση πλαστικού αυτού του τύπου. Η συλλογή κειμένου που προκύπτει από τη μηχανική παραμόρφωση παρουσιάζεται καθ' όλη τη διάρκεια σαν διαφορετικό χρώμα.

Τα χημιοχρωμικά περιλαμβάνουν ένα ευρύ πεδίο υλικών που οι ιδιότητές τους είναι ευαίσθητες σε διαφορετικά χημικά περιβάλλοντα. Θα μπορούσαμε να αναλογιστούμε το αρχαίο χάρτη ηλιοτροπίου σε μια βασική τάξη χημείας.

δ) Ηλεκτροχρωμικά Υλικά

Ο ηλεκτροχρωμισμός ορίζεται ευρέως σαν μια ανατρέψιμη μεταβολή χρώματος ενός υλικού που προκαλείται από την εφαρμογή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος. Ένα

ηλεκτροχρωμικό παράθυρο, για παράδειγμα γίνεται σκοτεινό ή φωτεινό ηλεκτρονικά. Μια μικρή τάση κάνει το φωτεινό υλικό να γίνεται σκοτεινό, και αντιστρέφοντας την τάση το κάνει να φωτίζεται.

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες υλικών που αλλάζουν χρώμα όταν ενεργοποιούνται με ηλεκτρισμό: τα ηλεκτροχρωμικά, τα υγρά κρύσταλλα και τα αιωρούμενα σωματίδια. Αυτές οι τεχνολογίες δεν αποτελούνται από υλικά που εμπεριέχουν ένα μόνο συστατικό, αλλά από πολλές στρώσεις συναρμολογήσεις διαφορετικών υλικών που δουλεύουν μαζί.

Πρωταρχικά, η μεταβολή χρώματος σε ένα ηλεκτροχρωμικό υλικό είναι το αποτέλεσμα μιας μοριακής μεταβολής που προκαλείται χημικά στην επιφάνεια του υλικού μέσω της μείωσης οξειδωσης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται στρώματα διαφορετικών υλικών που εξυπηρετούν διαφορετικές άκρες. Εν συντομία, τα ιόντα του υδρογόνου ή του λιθίου μεταφέρονται από ένα στρώμα αποθήκης ιόντων μέσω ενός αγώγιμου στρώματος ιόντος, και διαχέονται σε ένα ηλεκτροχρωμικό στρώμα. Στις συναρμολογήσεις του γυαλιού, το ηλεκτροχρωμικό στρώμα είναι συχνά οξειδίο βολφραμίου (WO^3). Η εφαρμογή τάσης οδηγεί τα ιόντα υδρογόνου ή λιθίου από το αποθηκευτικό στρώμα δια μέσου του αγώγιμου στρώματος, και μέσα στο ηλεκτροχρωμικό στρώμα, μεταβάλλοντας, έτσι τις οπτικές ιδιότητες του ηλεκτροχρωμικού στρώματος και επιφέροντας την απορρόφηση από αυτό ορισμένων ορατών μηκών κύματος φωτός. Σ' αυτήν την περίπτωση, το γυαλί γίνεται σκοτεινό. Αντιστρέφοντας την τάση τα ιόντα οδηγούνται έξω από το ηλεκτροχρωμικό στρώμα στην αντίθετη κατεύθυνση (δια μέσου του αγώγιμου στρώματος μέσα στο αποθηκευτικό στρώμα), καθιστώντας έτσι το γυαλί φωτεινό. Η διαδικασία είναι σχετικά αργή και απαιτεί εναλλασσόμενο ρεύμα.

Τα στρώματα που διαμορφώνουν το ηλεκτροχρωμικό συστατικό μπορεί να είναι αρκετά λεπτά και έτοιμα να διπλωθούν ανάμεσα στα παραδοσιακά γυαλιστικά υλικά. Πολλές εταιρείες δημιουργούν προϊόντα που ενσωματώνουν αυτά τα χαρακτηριστικά στα συστήματα από τα πιο μικρά όπως τα παράθυρα του σπιτιού στα πιο μεγάλα όπως ο τοίχος με κουρτίνα ενός κτιρίου. Σε μια παραδοσιακή εφαρμογή, η σχετική διαφάνεια και η απόχρωση του χρώματος των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων μπορούν να ελέγχονται με ηλεκτρισμό. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι για να παραμένει ένα παράθυρο σκοτεινό είναι απαραίτητο η τάση να παραμένει ενεργή.

3.2.2 Υλικά που αλλάζουν φάση

Στις μεταβολές φάσης των υλικών, πολλά υλικά μπορούν να περνούν από διαφορετικές φυσικές καταστάσεις – αέρια, υγρά ή στερεά – που είναι γνωστές ως φάσεις. Μια μεταβολή στη θερμοκρασία ή στην πίεση που ασκείται πάνω σε ένα υλικό μπορεί να προκαλέσει τη μεταβολή της κατάστασής του σε μια άλλη, και εξαιτίας αυτού υφίσταται αυτό που ορίζεται ως «μεταβολή φάσης». Οι διαδικασίες μεταβολής φάσης σταθερά περιλαμβάνουν την απορρόφηση, την αποθήκευσή ή την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας. Μια μεταβολή φάσης από στερεά σε υγρά, ή από υγρά σε αέρια, και αντίστροφα, προκύπτει σε ακριβείς θερμοκρασίες. Έτσι, με βάση τη σύνθεση του υλικού, υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης για το πού η ενέργεια απορροφάται ή απελευθερώνεται. Τα υλικά που αλλάζουν φάση, επί τούτου, αναζητούν την εκμετάλλευση αυτών των ενεργειών απορρόφησης/απελευθέρωσης.

Ενώ τα περισσότερα υλικά υφίστανται μεταβολές φάσης, υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες συνθέσεις, όπως τα ανόργανα ένυδρα άλατα, που απορροφούν και απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ενεργειακής θερμότητας. Όπως αλλάζει το υλικό από την στερεά στην υγρά κατάσταση, και μεταγενέστερα στην αέρια κατάσταση, πρέπει να απορροφηθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Όταν το υλικό επιστρέφει από την αέρια κατάσταση στην υγρά, και μετά στην στερεά, θα απελευθερωθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Αυτές οι διαδικασίες είναι παλινδρομικές και τα υλικά που αλλάζουν φάση μπορούν να υφίστανται απεριόριστο αριθμό χωρίς να διασπώνται.

Από τη στιγμή που τα υλικά που αλλάζουν φάση μπορούν να σχεδιασθούν έτσι ώστε να απορροφούν ή να απελευθερώνουν ενέργεια σε προβλεπόμενες θερμοκρασίες, έχουν, φυσιολογικά, διερευνηθεί για χρήση στην αρχιτεκτονική σαν ένας τρόπος που συνδράμει στον χειρισμό του θερμικού περιβάλλοντος σε ένα κτίσμα. Μια πρώτη εφαρμογή ήταν η εξέλιξη αυτού που αποκαλείται «γυψοσανίδα» που αλλάζει φάσεις» η οποία βασίζεται σε διαφορετικά ενσωματωμένα υλικά για να μεταδώσει δυνατότητες μεταβολής φάσης. Ευρέως χρήσεως ήταν τα ένυδρα άλατα, οι παραφίνες και τα λιπαρά οξέα. Οι παραφίνες και τα λιπαρά οξέα ενσωματώνονταν αρχικά στην γυψοσανίδα μέσω

της εμβύθισης. Μεταγενέστερα, χρησιμοποιούνται τα μπαλάκια που ήταν γεμισμένα με πλαστικό. Οι θερμοκρασίες μετάβασης ήταν ρυθμισμένες να είναι περίπου στου 65-72 ° F για κλίματα που κυριαρχούνται από τη θέρμανση με πρωταρχικές ανάγκες θέρμανσης και 72-79 ° F για κλίματα με πρωταρχικές ανάγκες ψύξης.

Τα προϊόντα που βασίζονται στην εμβάπτιση των τεχνολογιών δεν δούλεψαν ποτέ καλά και αποδείχθηκε ότι παρουσίαζαν προβλήματα που είχαν σχέση με την περισσότερη ή λιγότερη έκθεση των παραφινών και των λιπαρών οξέων (συμπεριλαμβανομένων των προβλημάτων με τα ζώα που έτρωγαν τα προϊόντα γυψοσανίδας). Οι τεχνολογίες που βασίζονται σε υλικά που «σφραγίζουν» τη μεταβολή φάσης σε μικρά σφαιρίδια δουλεύουν καλύτερα. Οι τεχνολογίες σφαιριδίων έχουν καταφέρει να έχουν ευρεία χρήση, για παράδειγμα, με σχέση με συστήματα πατώματος με ακτινοβολούμενη θερμότητα. Σε πολλά κλίματα, τα συστήματα ακτινοβολούμενου πατώματος που τοποθετούνται σε τσιμεντένιες πλάκες μπορούν να προσφέρουν αρκετή θέρμανση, όμως υπόκεινται σε ανεπιθύμητες κυκλικές εναλλαγές και скаμπανεβάσματα θερμοκρασίας εξαιτίας της ανάγκης που υπάρχει να κρατηθεί η θερμοκρασία της πλάκας στο επιθυμητό επίπεδο, το οποίο ουσιαστικά απαιτεί υψηλή αρχική θερμοκρασία. Η ενσωμάτωση των υλικών που αλλάζουν φάση στη μορφή σφαιριδίων μπορεί να μειώσει τις παραπάνω αναφερόμενες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

Τα υλικά που αλλάζουν φάση έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στα είδη εξωτερικού ρουχισμού. Υπάρχουν τεχνολογίες με ευρεσιτεχνίες για την ενσωμάτωση υλικών σε μορφή κάψουλας σε υφάσματα. Οι ενσωματώσεις σε κάψουλες είναι μικροσκοπικές στο μέγεθος. Η μεταβολή φάσης αυτών των υλικών μέσα σ' αυτές τις κάψουλες είναι σχεδιασμένες να είναι σε ημι-στερεά ημι-υγρά κατάσταση κοντά στην κανονική θερμοκρασία του σώματος. Όταν ο άνθρωπος ασκεί και δημιουργεί θερμότητα, τα υλικά υφίστανται μια μεταβολή φάσης και απορροφούν υπερβολική θερμότητα κρατώντας έτσι το σώμα δροσερότερο. Όσο το σώμα κρύνει και χρειάζεται θερμότητα, τα υλικά που αλλάζουν φάση αρχίζουν να απελευθερώνουν θερμότητα για να ζεστάνουν το σώμα.

Αυτό που προκαλεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις ήδη αναλυθείσες εφαρμογές είναι ότι οι επιτυχημένες εφαρμογές των υλικών που αλλάζουν φάση προέκυψαν όταν αυτά είναι

καλουπωμένα σε κάψουλα με τη μία ή την άλλη μορφή. Είναι εύκολο να φανταστούμε πως τα συγκεκριμένα υλικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πολλά άλλα προϊόντα, από λάμπες μέχρι έπιπλα, σαν ένα μέσο μετρίασης των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας.

3.2.3 Αγωγήμα πολυμερή και άλλοι έξυπνοι αγωγοί

Στην εποχή των ηλεκτρικών συσκευών, δεν είναι καθόλου παράξενο το γεγονός ότι έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα υλικά που είναι αγωγοί ηλεκτρισμού. Πολλοί επιστήμονες θα έχουν ακούσει για το έντονο ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα υλικά, όπως οι υπεραγωγοί που επιδεικνύουν μικρή ή καθόλου αντίσταση στη ροή του ηλεκτρισμού. Σ' αυτήν την ενότητα θα γίνει ανάλυση ενός ευρέος πεδίου αγώγιμων υλικών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που δίνουν μεγάλη δυνατότητα σε διαφορετικές εφαρμογές σχεδίου.

Γενικά υπάρχει ένα ευρύ φάσμα που σχετίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα μέσω όρων τέτοιων όπως «μονωτές», «αγωγοί», «ημι-αγωγοί» και «υπερ-αγωγοί», με τους μονωτές να είναι λιγότερο αγώγιμοι από όλα τα υλικά. Πολλά από τα προϊόντα με τα οποία είναι εξοικειωμένοι οι σχεδιαστές στην αρχιτεκτονική και τη βιομηχανία είναι οι απλοί αγωγοί. Είναι προφανές ότι πολλά υλικά είναι από τη φύση τους αγωγοί του ηλεκτρισμού λόγω των ατομικών δομών δέσμης όπου τα ηλεκτρόνια που είναι ελαφρά περιορισμένα έχουν εύκολη ροή μέσω του υλικού. Πολλά παραδοσιακά υλικά που δεν έχουν εσωτερικές ιδιότητες αγωγιμότητας, π.χ. γυάλινα ή άλλα πολυμερή, μπορούν να κατασκευαστούν με διάφορους τρόπους. Τα πολυμερή μπορούν να γίνουν αγωγοί μέσω της άμεσης προσθήκης των αγώγιμων υλικών (π.χ. γραφίτης, σωματίδια μεταλλικού οξέως) στο υλικό. Τα γυαλιά, που υπό κανονικές συνθήκες είναι πολύ μονωτικά, μπορούν να κατασταθούν αγωγοί και παράλληλα να είναι διαφανή μέσω των διαδικασιών τοποθέτησης λεπτής μεταλλικής μεμβράνης πάνω στις επιφάνειες τους.

Υπάρχουν πολλά πολυμερή των οποίων η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι εσωτερική. Τα ηλεκτροενεργειακά πολυμερή μεταβάλλουν την ηλεκτρική αγωγιμότητά τους προκειμένου να ανταποκριθούν στη μεταβολή της αντοχής ενός ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόζεται σ' ένα υλικό. Μια μοριακή αναδιάταξη προκύπτει, η οποία ευθυγραμμίζει

τα μόρια με ένα συγκεκριμένο τρόπο και απελευθερώνει ηλεκτρόνια προκειμένου αυτά να γίνουν αγωγοί ηλεκτρισμού. Παραδείγματα αυτών είναι η πολυανιλίνη και η πολυπυρόλη. Αυτά, κανονικά, είναι συζευγμένα πολυμερή που βασίζονται σε οργανικές συνθέσεις που έχουν εσωτερικές δομές μέσα στις οποίες τα ηλεκτρόνια μπορούν κινηθούν πιο ελεύθερα. Μερικά πολυμερή επιδεικνύουν συμπεριφορά ημι-αγωγού και μπορούν να εκπέμπουν φως. Τα ηλεκτροχημικά πολυμερή παρουσιάζουν μια μεταβολή στην ανταπόκριση της αντοχής του εκάστοτε χημικού περιβάλλοντος.

Έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός εφαρμογών για τα αγωγή πολυμερή. Οι τεχνητοί μύες έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση πολυπυρολικών ή πολυανιλικών μεμβράνων. Αυτές οι μεμβράνες είναι χωρισμένες σε φύλλα γύρω από μια μεμβράνη που είναι αγωγός ιόντων προκειμένου να διαμορφώσει μια αναδιπλούμενη κατασκευή. Όταν υπόκειται σε εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε προκύπτει μεταφορά ιόντων. Η τρέχουσα ροή τείνει να μειώνει τη μια πλευρά και να οξειδώνει την άλλη. Η μια πλευρά εξαπλώνεται και η άλλη συρρικνώνεται. Αφού οι μεμβράνες είναι χωρισμένες προκύπτει λύγισμα. Αυτό το λύγισμα μπορεί τότε να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει μηχανικές δυνάμεις και ενέργειες.

Παρόλη την έντονη επιθυμία πολλών σχεδιαστών να καλύψουν ένα κτήριο με αγωγή πολυμερή και να έχουν εικόνες δημιουργημένες από H/Y που θα εμφανίζονται οπουδήποτε κάποιος επιθυμεί, είναι αναγκαίο να θυμάται κάποιος ότι αυτά τα υλικά, ουσιαστικά, είναι μόνο αγωγοί. Με τον ίδιο τρόπο που δεν θα ήταν εύκολο να δημιουργήσει κάποιος μια εικόνα που θα εμφανίζεται πάνω σε φλύδα χαλκού, ομοίως δύσκολο είναι να φτιαχτεί μια εικόνα που θα εμφανίζεται σε ένα αγωγή πολυμερές. Δεδομένου ότι οι μεμβράνες μπορούν να χειραγωγηθούν (να κοπούν, να σχεδιαστούν, να χωριστούν κ.λ.π.) υπάρχουν πιθανότητες σ' αυτό το πεδίο αλλά είναι αμυδρές.

3.2.4 Ρεολογικά υλικά που αλλάζουν ιδιότητες-πεδιοεξαρτώμενα ρευστά

Μια κοινή ιδιότητα αυτών των ρευστών είναι ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, αποτελούνται από σωματίδια που αιωρούνται σ' ένα φέρον ρευστό. Οι ρεολογικές ιδιότητες των 'ελέγξιμων' ρευστών, όπως το ιξώδες, η ελαστικότητα και η

πλαστικότητα αλλάζουν μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου υπό την επίδραση ενός μαγνητικού ή ηλεκτρικού πεδίου και εξαρτώνται από τη συγκέντρωση και πυκνότητα των σωματιδίων, την κατανομή μεγέθους και σχήματος των σωματιδίων, τις ιδιότητες του φέροντος - βασικού ρευστού, πρόσθετες ουσίες, το επιβαλλόμενο πεδίο, τη θερμοκρασία και από άλλους παράγοντες. Η αλληλεξάρτηση αυτών των παραγόντων είναι πολύπλοκη, παρόλα αυτά είναι πολύ σημαντικό να καθιερωθούν μεθοδολογίες που να βελτιστοποιούν την απόδοση αυτών των ρευστών σε διάφορες εφαρμογές. Το μεγαλύτερο εμπόδιο στην εξέλιξη των ER και MR ρευστών είναι η δυσκολία κατανόησης των ηλεκτρο-μαγνητορολογικών μηχανισμών. Έτσι εξ' αιτίας της φύσης των ευφών ρευστών, οι πειραματικές τεχνικές θα εξακολουθήσουν για πολύ καιρό να παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στη μοντελοποίηση των ευφών ρευστών.

Ηλεκτρορολογικά και Μαγνητορολογικά Ρευστα – Κοινό μηχανικό μοντέλο (Bingham)(65)

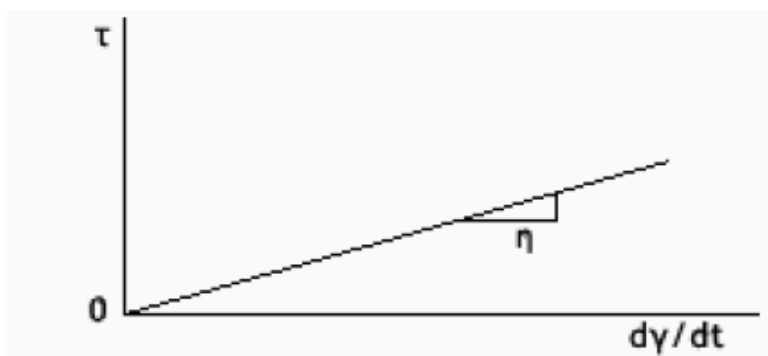
Ηλεκτρορολογικά (ER) και μαγνητορολογικά (MR) ρευστά είναι εκείνα που οι μηχανικές τους ιδιότητες μεταβάλλονται ως αποτέλεσμα της έκθεσής τους σε ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο αντίστοιχα. Η πιο ενδιαφέρουσα μηχανική ιδιότητα που παρουσιάζουν τα παραπάνω υλικά είναι η ικανότητά τους να φέρουν διατμητικές τάσεις. Στην μηχανολογία ρευστά τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται σε μηχανισμούς που απαιτούν έλεγχο φορτίων και ροπών μεταξύ κινούμενων μερών. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συσκευή η οποία στηρίζεται σε υδραυλικά συστήματα και επιτελεί το παραπάνω έργο μπορεί να επωφεληθεί από τα ERF σε ότι αφορά την απόκρισή της και την μείωση των στοιχείων που την αποτελούν. Τέτοιες συσκευές είναι κυρίως οι αποσβεστήρες, οι συμπλέκτες και οι απτικές συσκευές. Η εξάπλωση των ηλεκτρομαγνητικών ρευστών στα μηχανολογικά συστήματα καθυστέρησε λόγω της πολυπλοκότητας του προσεγγιστικού τους μοντέλου το οποίο δεν είναι κάτι το συνηθισμένο. Το μοντέλο στο οποίο βασίζονται τα ηλεκτρομαγνητορολογικά ρευστά είναι κοινό. Πρόκειται για το μοντέλο πλαστικής ροής του Bingham, το οποίο σημαίνει ότι συμπεριφέρονται σαν στερεά μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο ενδοτικότητας. Κύρια διαφορά στην μηχανική συμπεριφορά των ER και MR ρευστών είναι το μέγεθος της διατμητικής τάσης που είναι ικανά να φέρουν. Τα πρώτα φέρουν διατμητικές τάσεις της τάξεως των 10kPa, ενώ τα μαγνητορολογικά δύνανται να φέρουν δεκαπλάσια τάση, της τάξεως δηλαδή των 100kPa. Μέχρι στιγμής μόνο ένα

είδος ERF έχει καταφέρει να συναγωνιστεί τα MRF σε ότι αφορά την τάση που φέρει. Αποτελεί εφεύρεση ερευνητών του Hong Kong University of Science and Technology το 2004 και μπορεί να φέρει διατμητική τάση 130kPa.

Χωρίς ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο τα ηλεκτρορεολογικά ή τα μαγνητορεολογικά ρευστά αντίστοιχα συμπεριφέρονται σαν Νευτώνεια ρευστά, με την διατμητική τάση (τ) να είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της διατμητικής παραμόρφωσης (dy/dt) και του ιξώδους (η):

$$\tau = dy/dt \cdot \eta$$

Αυτή η απόκριση παριστάνεται από τη γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων στην εικόνα 6.



Εικόνα 3: Γραφική παράσταση διατμητικής τάσης (τ) – διατμητικής παραμόρφωσης (dy/dt).

Αυτό γενικά είναι μία προσέγγιση καθώς τα MRF ακόμα κι εκτός πεδίου δεν είναι Νευτώνεια εξ αιτίας των εναιωρημάτων και άλλων πρόσθετων σωματιδίων που περιέχουν. Σε συνθήκες μηδενικού πεδίου τα εναιωρήματα θεωρούνται σαν ομαλά κατανομημένα. Σε κάποιες άλλες εφαρμογές ακόμα και η ροή του ρευστού είναι ικανή να αποτρέψει την καθίζηση. Σε άλλες πάλι μία ελαφριά ανάδευση είναι απαραίτητη για την ανακατανομή των σωματιδίων. Όπως θα δούμε στη συνέχεια αποτελεί πλεονέκτημα το ιξώδες σε μηδενικό πεδίο να είναι όσο το δυνατό μικρότερο.

Ανάλυση Εφαρμογής Μαγνητορεολογικών Ρευστών

Παρακάτω δίδονται κάποιες συστάσεις σχετικά με την επιλογή μαγνητορολογικού ρευστού σε σχέση με ορισμένους παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες είναι το κόστος, η θερμοκρασία λειτουργίας, η στεγανοποίηση της κατασκευής, το όριο ενδοτικότητας. Επιπλέον δίνονται σχέσεις για την εκτίμηση του χρόνου ζωής του χρησιμοποιούμενου ρευστού. Τέλος παρατίθενται ορισμένοι πίνακες με ρευστά και τις ιδιότητές τους.

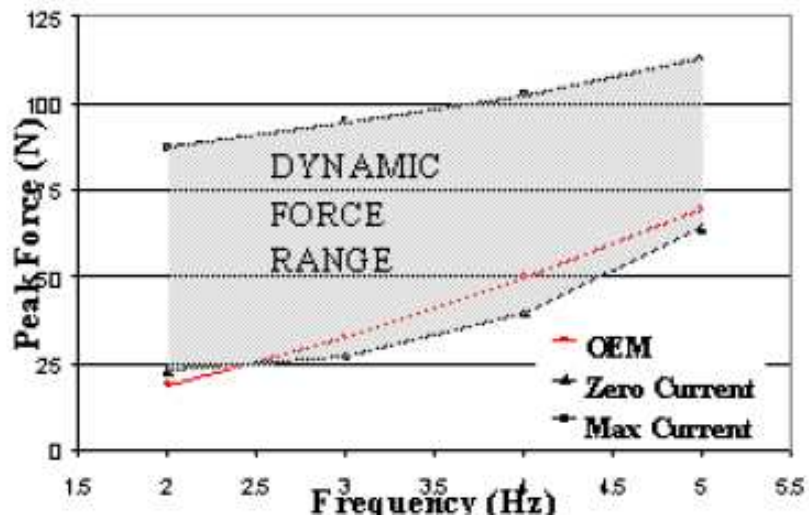
Μαγνητορολογικές Αναρτήσεις

Οι μαγνητορολογικές αναρτήσεις λειτουργούν σαν ένα κλειστό σύστημα ελέγχου. Αισθητήρες καταγράφουν την ανωμαλία του οδοστρώματος και παρέχουν συνεχώς πληροφορίες. Ένα ηλεκτρομαγνητικό πηνίο μέσα στον κύλινδρο της ανάρτησης δημιουργεί μαγνητικό πεδίο το οποίο ρυθμίζει το ιξώδες του ρευστού δημιουργώντας την εκάστοτε επιθυμητή απόσβεση.

Εκμεταλλεζόμενη την τεχνολογία των μαγνητορολογικών ρευστών η εταιρία Lord Corporation έχει τα ηνία στην εισαγωγή των ευφυών ρευστών στην αυτοκινητοβιομηχανία. Το 1997 κατασκεύασε αναρτήσεις 18''-τροχων οχημάτων βαρέου τύπου προς απορρόφηση των ταλαντώσεων. Αργότερα κατάφερε να εισάγει την τεχνολογία σε επιβατηγά αυτοκίνητα σε συνεργασία με την Delphi Corporation. Οι αναρτήσεις ονομάζονται MagneRide και συναντώνται στο βασικό εξοπλισμό του μοντέλου XLR της Cadillac Seville και ως προαιρετικός σε άλλα μοντέλα. Μέχρι στιγμής μόνο βασικό μειονέκτημα των αναρτήσεων αυτών είναι το υψηλό τους κόστος σε σχέση με τις συμβατικές αναρτήσεις.

Εκτός από την αυτοκινητοβιομηχανία, οι μαγνητορολογικές αναρτήσεις έχουν εισαχθεί και στα ποδήλατα ανωμάλου δρόμου (mountain bikes). Βέβαια σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει κάποιο σύστημα ελέγχου το οποίο μεταβάλλει την συμπεριφορά του ρευστού, παρά μόνο διάφορες ρυθμιζόμενες από τον αναβάτη σκάλες. Παρ' όλα αυτά τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο

ακόλουθο διάγραμμα της εταιρίας Karpel Designs LTD για την ανάρτηση UNR MRF.



Εικόνα 4: Διάγραμμα Δύναμης-Συχνότητας λειτουργίας της ανάρτησης UNR MRF.

Με κόκκινο χρώμα η συνάρτηση της συμβατικής ανάρτησης ποδηλάτου και με γκρι το πεδίο που καλύπτει η MRF ανάρτηση, από μηδενική έως μέγιστη τιμή του πεδίου.

Μαγνητοροεολογικοί και ηλεκτροροεολογικοί συμπλέκτες

Το ερευνητικό κέντρο της Ford κατάφερε να κατασκευάσει μαγνητοροεολογικό συμπλέκτη. Βασικό του πλεονέκτημα σε σχέση με τους μηχανολογικούς είναι ότι δεν βασίζεται στο φαινόμενο της τριβής, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει φθορά των στοιχείων και άρα ανάγκη συχνής αντικατάστασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα και την μείωση του κόστους συντήρησης του οχήματος. Τέλος, ένα πλεονέκτημα είναι και η αθόρυβη λειτουργία του συστήματος.

Στην ίδια εφεύρεση έφτασαν και οι επιστήμονες του Hong Kong University of Science and Technology με μόνη διαφορά την χρησιμοποίηση ηλεκτροροεολογικού αντί για μαγνητοροεολογικό ρευστό.

Αποσβεστήρες μεγάλης κλίμακας

Το Japan's National Museum of Emerging Science and Innovation, στο Τόκιο, εγκατέστησε αντισεισμικούς MRF – αποσβεστήρες κατασκευασμένους από τη Lord. Ενοποιήθηκαν με το υπόλοιπο κτήριο και δρουν σαν γιγαντιαίοι αποσβεστήρες σε περίπτωση σεισμού.

Εκτός των κτιρίων, τεράστιοι MRF – αποσβεστήρες εφαρμόζονται και σε γέφυρες για να τις σταθεροποιούν σε περίπτωση ισχυρών ανέμων. Παράδειγμα αποτελεί η Dong Ting Lake Bridge στην Κίνα.

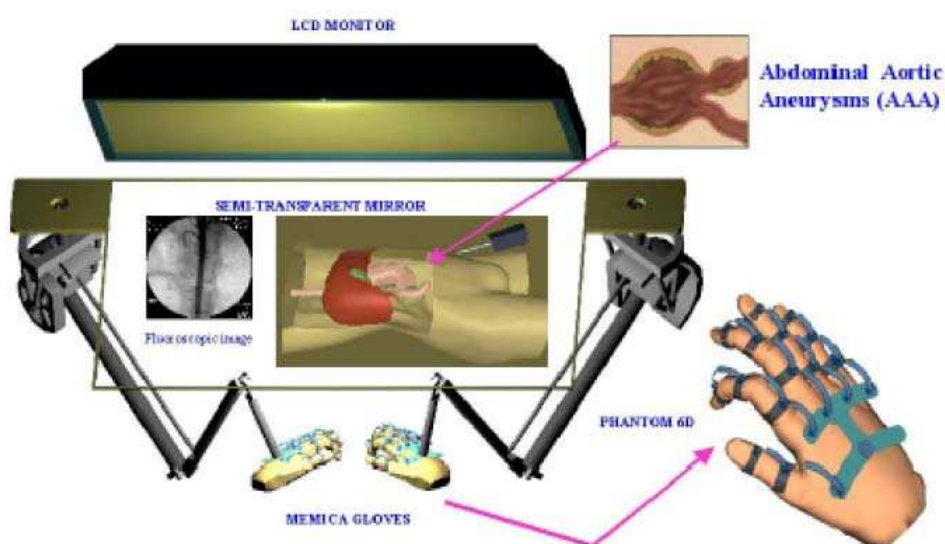
Τέλος η CSA Engineering of Albuquerque, New Mexico κατασκεύασε ένα είδος αποσβεστήρα, βασιζόμενο και πάλι σε μαγνητοροεολογικό ρευστό, το οποίο χρησιμοποιείται για την απόσβεση των κραδασμών κατά την εκτόξευση πυραύλων, φαινόμενο ικανό να προκαλέσει βλάβες στον φερόμενο από τον πύραυλο δορυφόρο.

Συστήματα Αφής (Haptic Systems)

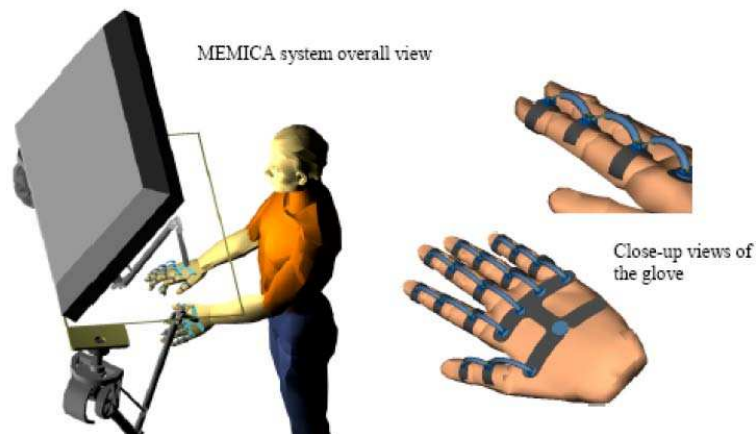
Εκτός από τις συνήθεις μηχανολογικές εφαρμογές, τα MRF βρίσκουν εφαρμογή και σε άλλα συστήματα μικρότερου μεγέθους και τεχνολογίας. Ένα παράδειγμα είναι τα συστήματα που χρησιμοποιούν την αφή ως βάση λειτουργίας τους, τα απτικά δηλαδή συστήματα. Σε τέτοιου είδους συστήματα είναι προτιμότερη η χρήση ηλεκτροροεολογικών αντί μαγνητοροεολογικών ρευστών, καθώς τα πρώτα χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια, των οποίων το μέγεθος είναι δυνατό να ελαχιστοποιηθεί, σε αντίθεση με αυτό των μαγνητών που χρειάζεται ένα μαγνητοροεολογικό σύστημα.

Υπάρχει η ιδέα, χωρίς καμία εφαρμογή μέχρι στιγμής, να σχεδιαστούν συστήματα γραφής και ανάγνωσης για τυφλούς, τα οποία θα στηρίζονται στις ιδιότητες των ηλεκτρορεολογικών ρευστών.

Μία άλλη ιδέα η οποία μέχρι στιγμής βρίσκει εφαρμογή είναι τα ιατρικά εργαλεία. Δημοφιλέστερο σύστημα είναι το MEMICA (remote mechanical mirroring using controlled stiffness and Actuators) που σχεδιάστηκε από ερευνητές στο Rutgers University (Mavroidis, Bouzit) και στο Jet Propulsion Laboratory (Bar-Kohen) το 2000. Το MEMICA χρησιμοποιείται σαν σύστημα για την πραγματοποίηση εικονικών εγχειρήσεων. Βασικά στοιχεία του συστήματος είναι τα ηλεκτρικά στοιχεία ελέγχου σκληρότητας (electrically controlled stiffness elements, ECS) και οι ηλεκτρικοί μηχανισμοί κίνησης ελέγχου δύναμης και σκληρότητας, τα οποία καθρεφτίζουν τη σκληρότητα και τις δυνάμεις (ECFS) στα εικονικά στοιχεία του συστήματος. Τα στοιχεία ECS και οι μηχανισμοί κίνησης ECFS, τα οποία χρησιμοποιούν ηλεκτρορεολογικά ρευστά, αποτελούν υποσυστήματα ενός ενόργανου γαντιού. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο τελικό εργαλείο του συστήματος, το ρομπότ, μεταδίδονται επακριβώς στον χρήστη μέσω των ηλεκτρορεολογικών υποσυστημάτων του γαντιού που φοράει.



Εικόνα 5: Ιατρικές εργασίες με τη χρήση εικονικής πραγματικότητας και ηλεκτρορεολογικών στοιχείων μέσω του συστήματος MEMICA.

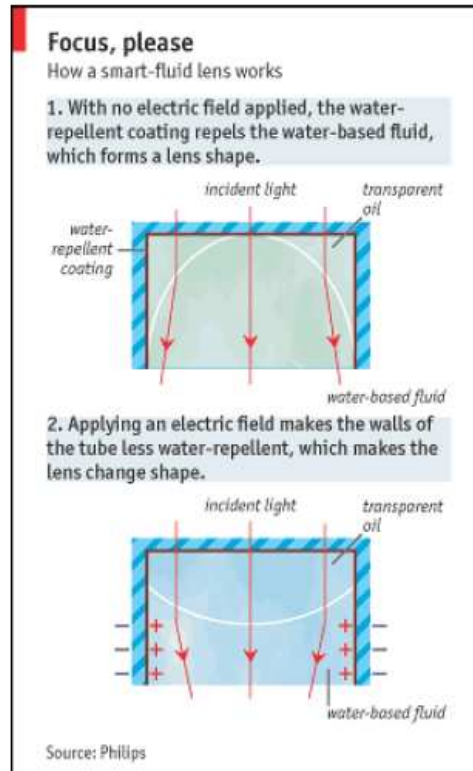


Εικόνα 6: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του συστήματος MEMICA και του ER-γαντιού.

Ψηφιακές Φωτογραφικές Μηχανές

Τα πλεονεκτήματα των ευφών υλικών γίνονται απαραίτητα ακόμη και στους κατασκευαστές ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών. Αν και η τεχνολογία είναι διαφορετική από τα υπόλοιπα συστήματα που έχουν αναφερθεί, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο: χρησιμοποίηση ενός ρευστού στη θέση ενός μηχανολογικού στοιχείου έτσι ώστε να μειώνεται η φθορά του συνολικού συστήματος. Οι σχεδιαστές ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών παρατηρούν ότι από τη στιγμή που οι συσκευές αυτές γίνονται όλο και πιο βραχύσωμες και προσαρτούνται σε κινητά τηλέφωνα και φορητούς υπολογιστές οι τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ των μηχανικών μερών και του οπτικού φακού τις καθιστούν προβληματικές. Η Varioptic και η Philips Electronics έχουν αμφότερες αναπτύξει μικροσκοπικούς οπτικούς φακούς τεχνολογίας ευφών ρευστών. Και οι δύο πατέντες βασίζονται στο φαινόμενο μεταβολής της επιφανειακής τάσης των υδάτινων ηλεκτρορολογικών ρευστών με την επιβολή ηλεκτρικού πεδίου (electrowetting phenomenon).

Δύο μη αναμειγμένα ρευστά τοποθετούνται σε μικρό σωλήνα κλεισμένο με διαφανή καπάκια. Το ένα είναι υδάτινο ρευστό και το άλλο αδιαφανές έλαιο. Η εσωτερική κυλινδρική επιφάνεια του σωλήνα, καθώς και η επιφάνεια ενός εκ των καλυμμάτων είναι επαλειμμένα με υδροαπωθητικό το οποίο αναγκάζει το υδάτινο ρευστό να μετατρέπεται σε σφαιρική μάζα στο άλλο (μη επαλειμμένο) άκρο του σωλήνα. Η σφαιρική αυτή μάζα ενεργεί στο άκρο του σωλήνα σαν καμπύλος φακός.

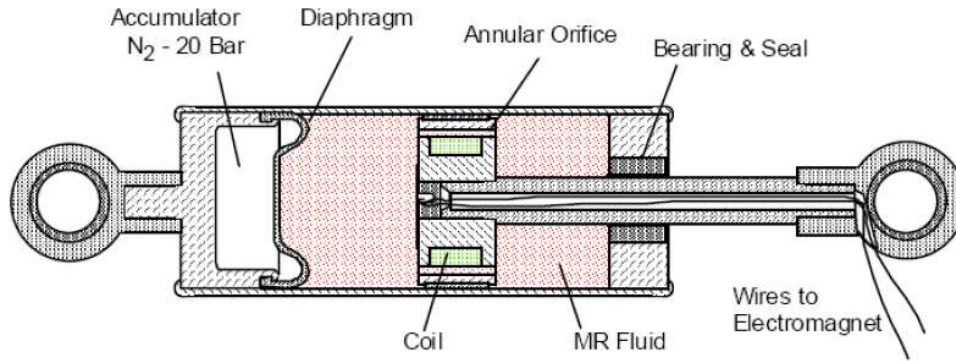


Εικόνα 7: Οπτικός φακός τεχνολογίας ευφών ρευστών.

Το σχήμα αυτού του φακού ορίζεται από το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο που ενεργεί στην υδροφοβική επαλειμμένη ουσία. Όσο πιο ισχυρό είναι το πεδίο τόσο μεγαλύτερη επιφανειακή τάση ασκείται στην σφαιρική μάζα του υδάτινου ρευστού και τόσο περισσότερο απωθείται αυτό από τα τοιχώματα του σωλήνα. Αυξάνοντας το ηλεκτρικό πεδίο, η υπό κανονικές συνθήκες κυρτή καμπύλη που σχηματίζει το υδάτινο ρευστό πλησιάζει την μορφή επίπεδης ή ακόμη και κοίλης επιφάνειας. Αυτό επιτρέπει στο φακό να εστιάσει.

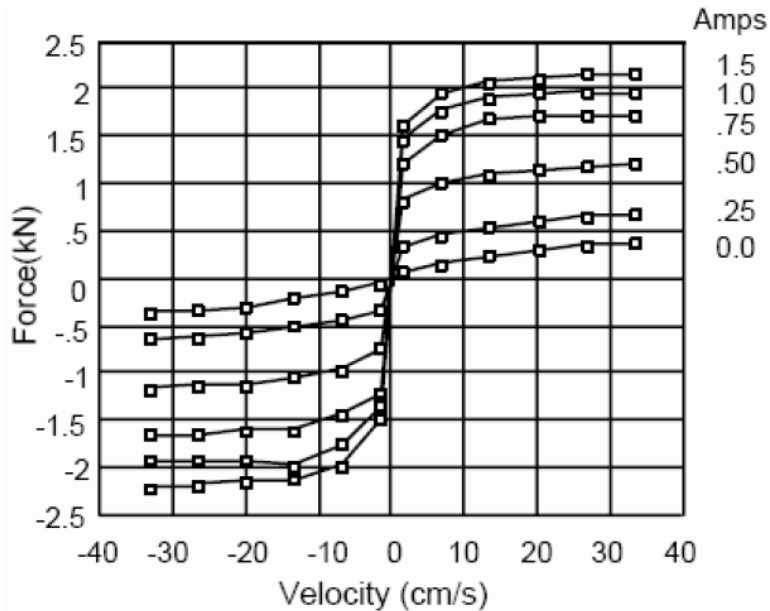
Αναρτήσεις καθισμάτων φορτηγών

Η εφαρμογή προτάθηκε από τους (Carlson, Catanzarite and St.Clair, 1995, Lord, 1997). Πρόκειται για έναν αποσβεστήρα ενός σωλήνα που λειτουργεί με βάση το ηλεκτρορεολογικό φαινόμενο και που χρησιμοποιείται σε ημιενεργές αναρτήσεις καθισμάτων βαρέων οχημάτων.



Εικόνα 8: Ανάρτηση καθίσματος φορτηγού.

Ο ελεγχόμενος αυτός αποσβεστήρας έχει τη δυνατότητα να παρέχει έλεγχο σε ένα ευρύ φάσμα δυνάμεων όπως φαίνεται και στην εικόνα 9.



Εικόνα 9: Διάγραμμα δύναμης – ταχύτητας.

Έχει διάμετρο 4.1 cm, μήκος 17.9 cm και διαδρομή 2.9 cm. Η βαλβίδα του ρευστού και το μαγνητικό κύκλωμα βρίσκονται εντός του πιστονιού. Το ρεύμα φτάνει στα τυλίγματα του πηνίου μέσω των ψηκτρών και του κοίλου άξονα όπως φαίνεται και στο σχήμα. Η ισχύς εισόδου που απαιτείται είναι 5 W και το ρεύμα 1 A. Περιέχει 70cm³ μαγνητορεολογικού ρευστού αλλά για τη λειτουργία απαιτούνται μόνο 0.3cm³.

Σε διάφορα τεστ που υποβλήθηκε αποδείχτηκε ότι έχει μεγάλη διάρκεια ζωής περίπου (5–10 εκατομμύρια κύκλους), χωρίς ωστόσο να αντιμετωπίζει φθορά εξαιτίας του μαγνητορεολογικού ρευστού που εμπεριέχει. Αυτή η εξαιρετική απόδοση οφείλεται στο σχεδιασμό, την επιλογή των υλικών και στη Χημεία των MR.

Χρησιμοποιεί το ρευστό MRX-126PD που είναι χαμηλού ιξώδους. Το ιδιαίτερο σχήμα των σωματιδίων του και τα ειδικής τεχνολογίας πρόσθετα εξασφαλίζουν την ανθεκτικότητα. Ο αποσβεστήρας αυτός ήταν από τις πρώτες εφαρμογές της τεχνολογίας των MRF στην απόσβεση ταλαντώσεων και κατέδειξε πως ο δρόμος για την εφαρμογή σε πραγματικές συσκευές ήταν ανοιχτός.

Πλυντήρια

Οι MR αποσβεστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην κατασκευή πλυντηρίων για τη μείωση των θορύβων και της δόνησης της συσκευής.

Η τεχνολογία αυτή (LORD MR) προσδίδει τα παρακάτω χαρακτηριστικά στην όλη κατασκευή :

1. Καλύτερο έλεγχο:

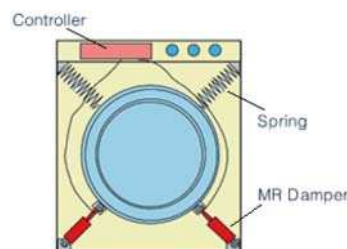
Με την τεχνολογία αυτή επιτυγχάνουμε προοδευτική ελάττωση του πλάτους ταλάντωσης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλυντηρίου.

2. Χαμηλή διαφορά δυναμικού κατά τη λειτουργία της συσκευής:

Τα πλυντήρια που χρησιμοποιούν MR αποσβεστήρες καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και έχουν την επιθυμητή απόδοση.

3. Κατανάλωση λιγότερης ενέργειας:

Χρησιμοποιώντας την MR τεχνολογία μειώνεται η μεταφερόμενη παλμική κίνηση και δαπανάται συνολικά λιγότερη ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση προγραμμάτων τα οποία είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα με τους MR αποσβεστήρες και επιτρέπουν την απενεργοποίηση των αποσβεστήρων του πλυντηρίου όταν αυτοί δεν είναι πια απαραίτητοι. Παρακάτω δίνεται σχεδιάγραμμα μιας τέτοιας κατασκευής:



Εικόνα 10: Πλυντήριο με MR αποσβεστήρες.

Προσθετικό άρθρωσης

Δουλεύοντας με τον Tiedemann Motet, ένα Γερμανό κατασκευαστή προσθετικών μελών, η κατασκευάστρια εταιρία LORD ανέπτυξε μια συσκευή η οποία τοποθετείται κατά μήκος του ακρωτηριασμένου ποδιού και βελτιώνει την ευκινησία του γονάτου. Η συσκευή ονομάζεται 'Polite™ Smart Magnetic™ Above-the-Knee (ASK) Prosthetic' και βοηθάει στην ισορροπία και τη σταθερότητα του προσθετικού μέλους-ποδιού. Στην συσκευή αυτή χρησιμοποιείται τεχνολογία MR και τα χαρακτηριστικά αυτής είναι προσαρμοσμένα στις προδιαγραφές της κατασκευής καθισμάτων αμαξιού, η οποία είναι γνωστή ως LORD Motion Master® Ride Management System truck seat damper.

Η τεχνολογία αυτή (LORD MR DAMPER) προσδίδει τα παρακάτω χαρακτηριστικά στην όλη κατασκευή :

1. Υψηλή ακρίβεια και ακαριαίο έλεγχο κατά την κίνηση:

Η απόκριση του MR ρευστού είναι κάτω από 10 milliseconds και η δύναμη αντίστασής του έχει άπειρο φάσμα διακυμάνσεων. Αυτός ο έλεγχος στις διακυμάνσεις των δυνάμεων καθιστά ικανή την αντικατάσταση των ακρωτηριασμένων μελών μ' αυτήν τη συσκευή.

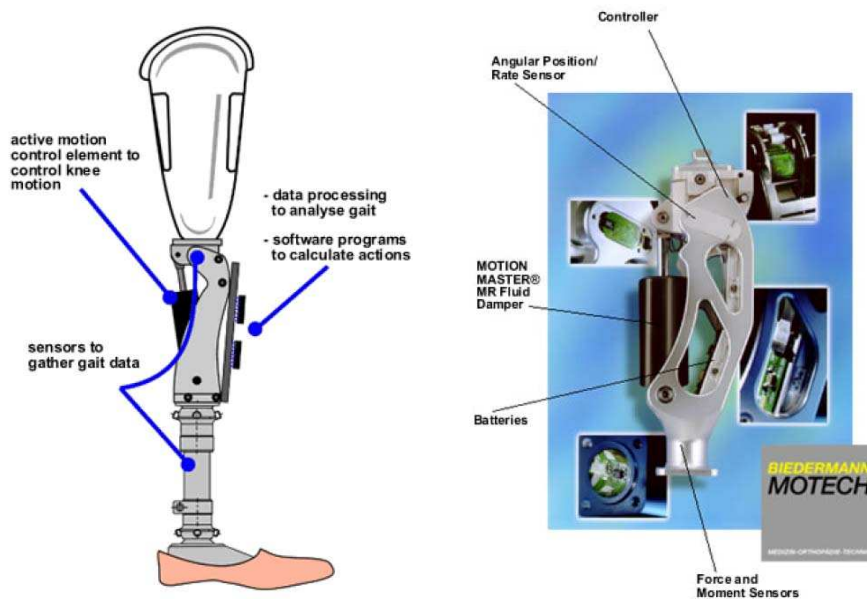
2. Δύναμη ανεξάρτητη της ταχύτητας:

Η συσκευή αυτή μπορεί και αντιγράφει τις φυσικές κινήσεις των ποδιών του ανθρώπου ακόμα και όταν αυτές είναι πολύ αργές.

Επίσης μπορεί να αντιστέκεται σε χτυπήματα σχεδόν με τον ίδιο τρόπο που θα αντιδρούσε το ανθρώπινο πόδι.

3. Υψηλότερη αξιοπιστία σε συνδυασμό με χαμηλότερο κόστος:

Σε αντίθεση με τους γνωστούς στην αγορά αποσβεστήρες, ο συγκεκριμένος καταναλώνει λιγότερη ενέργεια, έχει υψηλότερη απόδοση και τέλος έχει μικρότερο κόστος. Παρακάτω δίνεται το σχεδιάγραμμα της προσθετικής συσκευής η οποία λειτουργεί με μπαταρίες και περιέχει έναν αποσβεστήρα τριβών με MR ρευστό που ελέγχει την κίνηση του γονάτου.



Εικόνα 11: Προσθετικό άρθρωσης με τεχνολογία MR.

Electro-rheostatic (ER) και μαγνητο-rheostatic (MR) τα υλικά είναι υγρά, τα οποία μπορούν να βιώσουν μια δραματική αλλαγή στο ιξώδες τους. Αυτά τα υγρά που μπορούν να αλλάξουν από ένα παχύ υγρό (παρόμοια με λάδι μηχανής) σε περίπου μια σταθερή ουσία κατά την διάρκεια ενός δευτερολέπτου, όταν εκτεθούν σε μαγνητικά ή ηλεκτρικά πεδία. Το αποτέλεσμα μπορεί να αντιστραφεί τελείως εξίσου γρήγορα, όταν το πεδίο έχει αφαιρεθεί. MR υγρά εμφανίζουν μεταβολή ιξώδες όταν εκτεθούν σε μαγνητικά πεδία, ενώ υγρά ER εμπειρία παρόμοιων μεταβολών σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Η σύνθεση του κάθε τύπου έξυπνων ρευστού ποικίλλει ευρέως. Η πιο κοινή μορφή υγρού κ. αποτελείται από σίδηρο μικροσκοπικά σωματίδια που αιωρούνται στο πετρέλαιο, ενώ υγρά ER μπορεί να είναι τόσο απλή όσο η σοκολάτα γάλακτος ή αραβοσίτου και του πετρελαίου.

MR υγρά που αναπτύσσονται για χρήση σε κρίσεις αυτοκίνητο, απόσβεση κραδασμών πλυντήριο ρούχων, προσθετικά άκρα, όργανα γυμναστικής, και στίλβωση της επιφάνειας εξαρτημάτων μηχανών. Έχουν ER υγρά κυρίως έχουν αναπτυχθεί για χρήση σε συμπλέκτες και βαλβίδες, καθώς και κινητήρα αναρτήσεις με στόχο τη μείωση του θορύβου και κραδασμών σε οχήματα.

3.2.5 Τεχνολογίες υγρών κρυστάλλων

Τα εκθέματα υγρών κρυστάλλων χρησιμοποιούνται συνέχεια σε μια πλειάδα προϊόντων. Είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί κάποιος στη σημερινή, σύγχρονη, κοινωνία που δεν έχει δει ή χρησιμοποιήσει κάποιο από αυτά τα προϊόντα. Αυτή η ευρεία χρήση, όμως, δε σημαίνει ότι οι υγρές κρυστάλλινες τεχνολογίες δεν είναι πολύπλοκες και επιτηδευμένες. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει, αποτελούν μεγάλη επιτυχία στην ιστορία της τεχνολογικής προόδου.

Τα υγρά κρύσταλλα είναι μια ενδιάμεση φάση μεταξύ των κρυσταλλικών στερεών και των ισοτροπικών υγρών. Είναι, με προσανατολισμό, παρατεταγμένα υγρά με ανισοτροπικές ιδιότητες που είναι ευαίσθητα στα ηλεκτρικά πεδία, και συνεπώς είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμα στις οπτικές διατάξεις. Οι υγρές κρυσταλλικές εκθέσεις χρησιμοποιούν δύο φύλλα πολωμένου υλικού με υγρό κρυσταλλικό διάλυμα μεταξύ τους. Ένα ηλεκτρικό εναλλασσόμενο ρεύμα που περνά διαμέσου του υγρού προκαλεί την ευθυγράμμιση των κρυστάλλων έτσι ώστε το φως να μπορεί να τα διαπεράσει. Κάθε κρύσταλλος είναι σαν παραθυρόφυλλο, είτε θα επιτρέπει στο φως να περάσει μέσα είτε θα μπλοκάρει το φως.

3.2.7 Άλλα υλικά τύπου I

Υπάρχουν πολλά άλλα ενδιαφέροντα υλικά που παρουσιάζουν μεταβολή ιδιότητας κάποιας μορφής. Οι ζελατίνες που αλλάζουν μέγεθος ή τα κρύσταλλα, για παράδειγμα, έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν τεράστιες ποσότητες νερού και κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, μέσω εκατοντάδων πτυχώσεων, αυξάνουν τους όγκους τους. Όταν στεγνώσουν, αυτά τα ίδια υλικά επιστρέφουν στα αρχικά τους μεγέθη (συχνά όμως παραμορφωμένα). Οι εφαρμογές αυτών βρίσκονται παντού, από τις συσκευές που απορροφούν την υγρασία και τις συσκευές συσκευασίας μέχρι τις πάνες για τα μωρά και τους ράβδους με αιχμηρή απόληξη για το πότισμα των φυτών.

(66) “Αμερικανοί ερευνητές δημιούργησαν στερεά πλαστικά που αλλάζουν χρώμα, όταν βρεθούν υπό καθεστώς μηχανικής πίεσης. Η ανακάλυψη μπορεί να οδηγήσει σε μια νέα γενιά «έξυπνων» πλαστικών, τα οποία θα δίνουν χρωματικό σήμα, όταν είναι έτοιμα να σπάσουν ή θα πυροδοτούν μια χημική αντίδραση αυτομάτως, η οποία θα τους επιτρέπει να σκληραίνουν ξανά μόνα τους στο σημείο που υφίσταται τον μεγαλύτερο κίνδυνο” λέει η Ελευθεροτυπία ενώ

“Ένα νέο υλικό σκυροδέματος που «επουλώνει» μόνο τις ρωγμές του ανακάλυψαν ερευνητές του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν στις ΗΠΑ ανοίγοντας τον δρόμο για πιο σταθερές κατασκευές που θα μπορούσαν να αυτοεπιδιορθώνονται έπειτα από σεισμούς” λέει το Βήμα, μέσω των αρχιτεκτόνων. Το αφιέρωμα του βήματος συνεχίζει λέγοντας “η αυτοεπιδιόρθωση του μπετόν γίνεται με απλή απορρόφηση νερού και διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχει στο περιβάλλον. Το υλικό μετά την απορρόφηση σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα από ανθρακικό ασβέστιο, μια ανθεκτική ουσία που στη φύση συναντάται στα κελύφη των θαλάσσιων οργανισμών.

Το νέο μπετόν έχει σχεδιαστεί ώστε να σπάει σε πολύ μικρές ρωγμές, και όχι σε μεγάλες, όπως το συμβατικό μπετόν- λειτουργεί περισσότερο ως μέταλλο που λυγίζει αλλά δεν σπάει. Έτσι ακόμη και αν υποστεί ρωγμή, ο βροχερός καιρός για μερικές ημέρες αποτελεί τον σύμμαχο για την «επούλωση» των πληγών του, σύμφωνα με μελέτη η οποία αναμένεται να δημοσιευθεί στο τεχνικό περιοδικό «Cement and Concrete Research».

Εργαστηριακές δοκιμές έδειξαν ότι το υλικό επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση ακόμη και όταν υποβληθεί σε πιέσεις που μεταβάλλουν το αρχικό του μέγεθος κατά 3%-ποσοστό αρκετό για να οδηγήσει σε καταστροφικές ρωγμές το συμβατικό σκυρόδεμα.”

ενώ για το έξυπνο πλαστικό το άρθρο συνεχίζει λέγοντας ότι “τα πλαστικά αυτά έρχονται να προστεθούν σε μια σειρά “έξυπνων” υλικών, τα οποία αντιλαμβάνονται τις αλλαγές του περιβάλλοντος και αντιδρούν ανάλογα. Ήδη οι επιστήμονες έχουν δημιουργήσει αυτό-διορθούμενα πλαστικά, τα οποία φροντίζουν να θεραπεύσουν τυχόν ρωγμές τους, απελευθερώνοντας αυτομάτως έναν καταλύτη, ο οποίος οδηγεί σε αναμόρφωση του πλαστικού, ώστε να κλείσει τη σχισμή.

Η νέα ανακάλυψη, που παρουσιάζεται στο περιοδικό “Nature”, έγινε από ερευνητές του πανεπιστημίου του Ιλινόις, υπό τον χημικό Τζέφρι Μουρ και την ειδική στα υλικά

Νάνσι Σότος, οι οποίοι εδώ και καιρό εργάζονται με σκοπό να εφοδιάσουν τα πολυμερή υλικά με την ικανότητα να αντιλαμβάνονται και να αντιδρούν στο μηχανικό στρες.

Τέτοια πολυμερή πλαστικά που αλλάζουν χρώμα, στο μέλλον θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επικαλύψεις στα πάντα, από γέφυρες μέχρι φτερά αεροπλάνων, προειδοποιώντας έγκαιρα τους μηχανικούς όταν ζωτικές δομές βρίσκονται κοντά στο όριο να σπάσουν. Όταν υλικά όπως τα μέταλλα και το μπετόν αρχίζουν να κάμπτονται και να “στρεσάρονται”, εμφανίζουν ορατές ρωγμές, οπότε προειδοποιούν τους μηχανικούς.

Το ίδιο δεν συμβαίνει όμως με τα πλαστικά, γι’ αυτό άλλωστε η νέα ανακάλυψη αναμένεται να συγκεντρώσει μεγάλο ενδιαφέρον.”

3.3 Έξυπνα υλικά Τύπου 2 – ανταλλαγής ενέργειας

Τα ενεργειακά πεδία – περιβάλλοντα – περιβάλλουν όλα τα υλικά. Όταν η ενεργειακή κατάσταση ενός δεδομένου υλικού είναι ίση με την ενεργειακή κατάσταση του περιβάλλοντος που το περιστοιχίζει, τότε αυτό το υλικό λέγεται ότι είναι σε ισορροπία.: δεν μπορεί να ανταλλάξει καμία ενέργεια. Αν το υλικό είναι σε διαφορετική ενεργειακή κατάσταση, τότε δημιουργείται μια δυνατότητα που οδηγεί στην ανταλλαγή ενέργειας. Όλα τα υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια περιλαμβάνουν ενεργειακά επίπεδα ατόμου – η εισροή ενέργειας ανυψώνει το επίπεδο, η εκροή ενέργειας επιστρέφει το επίπεδο στην κατάσταση εδάφους. Για παράδειγμα, όταν η ηλιακή ακτινοβολία χτυπάει ένα φωτοβολταϊκό υλικό, η ενέργεια φωτονίου απορροφάται ή για να είμαστε πιο ακριβείς – απορροφάται από τα άτομα του υλικού. Επειδή η ενέργεια πρέπει να συντηρηθεί, η επιπλέον ενέργεια στα άτομα πιέζει το άτομα να κινηθεί σε υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο. Επειδή δεν έχει τη δυνατότητα να κρατήσει αυτό το επίπεδο, το άτομο πρέπει να απελευθερώσει μια αντίστοιχη ποσότητα ενέργειας. Χρησιμοποιώντας ημι-αγώγιμα υλικά, τα φωτοβολταϊκά έχουν τη δυνατότητα να εγκλωβίσουν αυτήν την απελευθέρωση της ενέργειας – παράγοντας μ’αυτόν τον τρόπο ηλεκτρισμό. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα υλικά – και τα παραδοσιακά και τα έξυπνα – πρέπει να συντηρούν ενέργεια και ως εκ τούτου το ενεργειακό επίπεδο του υλικού θα αυξηθεί οποτεδήποτε η ενέργεια εισρεύσει ή προστεθεί. Όμως, για τα περισσότερα υλικά, αυτή η αύξηση στην ενέργεια

καταδεικνύεται με την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του υλικού, τις περισσότερες φορές με τη μορφή θερμότητας. Τα έξυπνα υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια διαχωρίζονται μεταξύ τους ανάλογα με την ικανότητα να ανακτήσουν αυτήν την εσωτερική ενέργεια με την πιο χρήσιμη μορφή.

Πολλά από τα υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια είναι επίσης διπλής κατεύθυνσης – η ενέργεια που εισρέει με την ενέργεια που εκρέει μπορούν να εναλλαχθούν. Οι μεγαλύτερες εξαιρέσεις ως προς αυτό είναι τα υλικά που ανταλλάσσουν ακτινοβολούμενη ενέργεια– η μεγάλη αναποτελεσματικότητα της ακτινοβολούμενης ενέργειας μεγαλώνει τη θερμοδυναμική μη-αναστρεψιμότητα. Επιπλέον, τα υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια, σε αντίθεση με τα περισσότερα (αλλά όχι όλα) τα υλικά που αλλάζουν ιδιότητες είναι σχεδόν πάντοτε σύνθετα υλικά – οι εξαιρέσεις περιλαμβάνουν μαγνητοσυστολικό σίδηρο και πιεζοηλεκτρικό χαλαζία ο οποίος προκύπτει με φυσικό τρόπο.

Οι παρακάτω ενότητες περιγράφουν μερικά Τύπου 2 υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως.

3.3.1 Υλικά που εκπέμπουν φως

Φωτοβολή, φθορισμός, φωσφορισμός

Ο ορισμός της φωτοβολής μπορεί να υποστηριχθεί λέγοντας ότι εκπέμπεται φως που δεν προκαλείται μέσω της πυράκτωσης αλλά περισσότερο μέσω άλλων τρόπων, όπως τις χημικές ενέργειες. Περιγράφοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια, ο όρος φωτοβολή γενικά αναφέρεται στην εκπομπή φωτός μέσω μιας συναφούς ενέργειας. Το φως προκαλείται μέσω της επανάληψης της εκπομπής της ενέργειας σε μήκη κύματος στο ορατό φάσμα και σχετίζεται με την επιστροφή των ηλεκτρονίων από την υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση σε χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να προκληθεί μέσω διαφόρων πηγών διέγερσης, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής, των χημικών αντιδράσεων ή ακόμα την τριβή. Ένα κλασσικό παράδειγμα είναι η γνωστή σε όλους «ράβδος φωτός» που

χρησιμοποιείται για παροχή φωτός σε έκτακτη ανάγκη ή από τα παιδιά κατά τη διάρκεια των Αποκριών.

Η *φωτοβολή* είναι ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για διάφορα φαινόμενα που βασίζονται στην εκπομπή φωτός. Αν η εκπομπή προκύπτει λίγο-πολύ στιγμιαία , χρησιμοποιείται όρος φθορίζων. Τα υλικά που φθορίζουν λάμπουν ιδιαίτερα όταν τα τοποθετούμε σε «μαύρο φως» (φως σε υπεριώδες φάσμα). Αν η εκπομπή είναι πιο αργή ή καθυστερεί για μερικά εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου ή δισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου, χρησιμοποιείται ο όρος *φωσφορισμός*. Πολλά συστατικά είναι είτε φωσφορίζοντα με φυσικό τρόπο είτε σχεδιασμένα να είναι φωσφορίζοντα. Ο χρόνος της καθυστέρησης εξαρτάται από το συγκεκριμένο είδος φωσφόρου που χρησιμοποιείται. Οι κοινοί φώσφοροι περιλαμβάνουν διαφορετικά μεταλλικά θειικά άλατα (π.χ. ZnS). Οι κοινές οθόνες τηλεοράσεων βασίζονται στη χρήση του ZnS. Το αλουμινώδες στρόντιο είναι επίσης ισχυρό φωσφορίζων. Σε μερικές περιπτώσεις, η εκπομπή φωτός μπορεί να συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τη εξαφάνιση της διέγερσης της πηγής επειδή τα ηλεκτρόνια καθίστανται προσωρινά παγιδευμένα λόγω των χαρακτηριστικών του υλικού. Εδώ χρησιμοποιείται ο όρος *κατάλοιπος φωσφορισμός*.

Πολλά υλικά που είναι φωτοβόλα είναι στερεά που εμπεριέχουν μικρούς ρύπους , π.χ. θειικά άλατα ψευδαργύρου με πολύ μικρές ποσότητες χαλκού. Όταν αυτά τα υλικά εκτίθενται σε συμπτωματική ενέργεια σε όποια μορφή από τις διάφορες μορφές που παίρνει, η ενέργεια που σχετίζεται με τα ηλεκτρόνια που επιδρούν ή τα φωτόνια απορροφώνται από το υλικό το οποίο με τη σειρά του προκαλεί την άνοδο σε υψηλότερο επίπεδο των ηλεκτρονίων που βρίσκονται μέσα στο υλικό. Ακολουθώντας το περιγραφικό μοντέλο που συνέστησαν ο Flinn και ο Trojan, αυτά τα ηλεκτρόνια μεταγενέστερα μπορούν να εμπέσουν σε αυτά που κοινώς καλούνται «παγίδες» και έχουν σχέση με τους ρύπους. Μετά από λίγο, το παγιδευμένο ηλεκτρόνιο κερδίζει αρκετή ενέργεια ώστε να αφήσει την παγίδα του και κάνοντας αυτό παράγει φως φωτονίου σε ένα μήκος κύματος στο ορατό φάσμα. Οι διαφορετικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένου του χρώματος του φωτός που εκπέμπεται, μπορούν να κατασκευαστούν με διαφορετικά συστατικά και ρύπους που ώστε να αποδώσουν συγκεκριμένα είδη υλικών που εκπέμπουν φως. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει ένα

συνεχές ζήτημα βελτίωσης της διάρκειας του φωσφορίζοντος αποτελέσματος όταν η πηγή διέγερσης εξαφανιστεί. Τα υλικά όπως τα αλουμινώδες στρόντιο, για παράδειγμα, έχουν γίνει αντικείμενα εκμετάλλευσης διότι, όταν εξαφανιστεί η πηγή διέγερσης, εκείνα εξακολουθούν να διέπονται από εκτενή διάρκεια κατάλοιπου φωσφορισμού.

Η *φωτοφωτοβολή* γενικώς αναφέρεται σε ένα είδος φωτοβολής που προκύπτει όταν η συμπτωματική ενέργεια που έχει σχέση με την εξωτερική πηγή φωτός επιδρά πάνω σε ένα υλικό και μετά επανεκπέμπει φως σε χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο. Αναμειγνύεται μια διαδικασία ηλεκτρικής διέγερσης μέσω της απορρόφησης του φωτονίου. Συνέπεια της συντήρησης της ενέργειας είναι ότι το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται έχει μακρύτερη έκταση (δηλ. πιο κόκκινο, και περιλαμβάνει λιγότερη ενέργεια) από το μήκος κύματος του συμπτωματικού φωτός. Αρκετά είδη φώσφορων φωτοβολούν έντονα, ιδιαίτερα όταν εκτίθενται σε υπεριώδες φως.

Οι παραδοσιακές λάμπες φθορίου βασίζονται επίσης στα φωτοβολικά αποτελέσματα. Τα εσωτερικά της λάμπας είναι τυλιγμένα με έναν φώσφορο, ο οποίος διεγείρεται μέσω της ακτινοβολίας του υπεριώδους υδραργύρου.

Στην χημιοφωτοβολή, η διέγερση προέρχεται από την χημική ενέργεια ενός ή άλλου τύπου. Η ράβδος φωτός που αναφέρθηκε παραπάνω εξακολουθεί να είναι το καλύτερο κοινό παράδειγμα αυτού του φαινομένου. Σ' αυτό το σημείο έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ότι η χημιοφωτοβολή παράγει φως χωρίς την αντίστοιχη παραγωγή θερμότητας, το οποίο προξενεί έκπληξη δεδομένου ότι αναμειγνύεται μια χημική αντίδραση. Όμως, αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου αυξηθεί, τότε θα υπάρξει αύξηση στο χρόνο αντίδρασης, έτσι η παραγωγή φωτός και η μείωση της θερμοκρασίας θα μειώσουν αντίστοιχα και την παραγωγή φωτός.

Η βιοφωταύγια είναι ένα υποσύνολο της χημιοφωτοβολής και είναι ιδιαίτερα συναρπαστική διότι παρέχει γυαλάδα και έχει να κάνει με τα διάφορα έντομα που εκπέμπουν φως, όπως οι πυγολαμπίδες ή το ψάρι *Malacosteus*, το οποίο κολυμπάει στα βάθη της θάλασσας μέσω του δικού του νυχτερινού φωτός. Αξίζει επίσης να

ληφθεί υπόψη και το καλαμάρι που μπορεί να αλλάζει τη φωτοβολή του για να ταιριάζει είτε στο φως του φεγγαριού είτε στο φως του ήλιου.

Ηλεκτροφωτοβολή

Με τα ηλεκτροφωτοβόλα υλικά η πηγή της διέγερσης είναι μια εφαρμοσμένη τάση ή ένα ηλεκτρικό πεδίο. Η τάση παρέχει την ενέργεια που απαιτείται. Στην πραγματικότητα υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι για να προκύψει η ηλεκτροφωτοβολή. Η πρώτη και παραδοσιακή συνθήκη προκύπτει όταν υπάρχουν ρύποι διασπαρμένοι στο βασικό φώσφορο. Ένα υψηλό ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων δια μέσου του φωσφόρου και χτυπούν τους ρύπους. Τα άλματα που προκύπτουν σε συνδυασμό με τον ιονισμένο ρύπο προκαλούν την εμφάνιση της φωτοβολής. Το χρώμα που εκπέμπεται εξαρτάται από την τύπο του υλικού του ρύπου που διαμορφώνει τα ενεργά ιόντα. Μια δεύτερη και πιο περίπλοκη συμπεριφορά προκαλείται σε ειδικά υλικά, όπως οι ημι-αγωγοί, εξαιτίας της γενικής κίνησης των ηλεκτρονίων και των οπών (ιδέ Ημι-αγωγοί, Lasers και δίοδοι εκπομπής φωτός – LED παρακάτω).

Τα ηλεκτροφωτοβόλα υλικά χρησιμοποιούνται ευρέως για τις λεπτές λωρίδες και τους πίνακες όλων των περιγραφών. Ο φωτεινός οπίσθιος φωτισμός των οικονομικών ρολογιών είναι πάντοτε ηλεκτροφωτοβόλοι πίνακες. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, τα χρώματα εξαρτώνται από τα ενεργά ιόντα που επιλέγονται για χρήση. Σε πολύ οικονομικά συστήματα, όμως, χρησιμοποιούνται απλά φίλτρα χρώματος για να δώσουν ποικιλία. Οι λωρίδες ή οι πίνακες μπορούν να σχεδιασθούν ώστε να απαλλάσσονται από διαφορετικές εφαρμοσμένες τάσεις. Μπορούν να λειτουργούν με μπαταρία. Από την άλλη πλευρά, μπορούν να κατασκευαστούν μεγαλύτεροι πίνακες για να μπορούν να ανταποκρίνονται στις τάσεις της οικιακής.

Αφού το αποτέλεσμα της φωτοβολής εξαρτάται από φωσφόρους και ένα ηλεκτρικό πεδίο, οι ηλεκτροφωτοβόλες λωρίδες ή οι πίνακες μπορούν να κατασκευασθούν χρησιμοποιώντας μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών ουδέτερων υποστρωμάτων. Μπορούν να κατασκευαστούν πολύ απλές λωρίδες στις οποίες το φωσφορικό υλικό μπορεί να εφαρμοστεί όμοια με μια πολυμερική λωρίδα, και, για λόγους προστασίας,

να καλυφθεί με μια άλλη διάφανη λωρίδα. Στη λωρίδα εφαρμόζεται ένα μικρό καλώδιο που προσδίδει το ηλεκτρικό πεδίο. Οι πηγές τάσεις μπορούν να είναι μπαταρίες. Οι μεγαλύτεροι πίνακες μπορούν να κατασκευαστούν επίσης με τη χρήση πολυμερικών υλικών. Ο πίνακας, αναγκαστικά θα περιβαλόταν από μια ηλεκτρική λωρίδα. Είναι πολύ ενδιαφέρον το γεγονός ότι, για όσο το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να διατηρηθεί, οι πολυμερείς πίνακες μπορούν κυριολεκτικά να τεμαχιστούν σε διάφορα μεγέθη. Άλλα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υποστρώματα περιλαμβάνουν το γυαλί, τα κεραμικά και τα πλαστικά.

Οι ηλεκτροφωτοβόλες λάμπες έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ευρέως. Αντλούν λίγο ρεύμα και δεν δημιουργούν θερμότητα. Παρέχουν μια ομοιόμορφα φωταγωγημένη επιφάνεια και εμφανίζονται το ίδιο φωτεινά από όλες τις γωνίες. Δεδομένου ότι δεν έχουν κινούμενα ή ευαίσθητα μέρη, δεν σπάνε εύκολα.

3.3.2 Βασικά φαινόμενα ημιαγωγών

Πολύ λίγοι άνθρωποι δεν έχουν ακούσει για τους ημι-αγωγούς – τα υλικά που αποτελούν την απαρχή στην εποχή των μικροηλεκτρικών συσκευών υψηλής ισχύος. Το βασικό φαινόμενο που διέπει έναν ημι-αγωγό διαμορφώνει επίσης τη βάση για άλλες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των κρυσταλλολυχνιών και του φωτοβολταϊκού αποτελέσματος που έχει σχέση με την ηλιακή ενέργεια. Φυσικά, λίγοι άνθρωποι γνωρίζουν τι περιλαμβάνει αυτό το φαινόμενο και τι στην πραγματικότητα, μπορούν να κάνουν οι ημι-αγώγιμες συσκευές.

Τα βασικά ημι-αγώγιμα υλικά, όπως η σιλικόνη δεν είναι ούτε καλοί αγωγοί ούτε καλοί μονωτές, όμως με την προσθήκη μικρών ρύπων που καλούνται *προσμίξεις*, μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να διέπονται από εντυπωσιακές ηλεκτρικές ιδιότητες. Η προσθήκη αυτών των προσμίξεων ή των ρύπων επιτρέπει στην κίνηση των ηλεκτρονίων να είναι ελεγχόμενη με ακρίβεια. Η αξιοποίηση των ιδιοτήτων που προκύπτουν έχουν επιτρέψει στους ημι-αγωγούς την εξυπηρέτηση λειτουργιών όπως οι περίτεχνες ηλεκτρονικές διατάξεις κυκλωμάτων που αποτελούνται από πολλά μέρη.

Η σιλικόνη είναι το πιο διαδεδομένο ημι-αγώγιμο υλικό, παρόλο που και άλλοι τύποι υλικών είναι δυνατοί. Τα βασικά ημι-αγώγιμα υλικά παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες ιδιότητες όταν οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος μεταβάλλονται. Σε αντίθεση με τα περισσότερα μέταλλα όπου οι αυξήσεις της θερμοκρασίας προξενούν αυξήσεις στην αντίσταση, η αγωγιμότητα στα ημι-αγώγιμα υλικά αυξάνεται με τις αυξανόμενες θερμοκρασίες. Αυτή η ιδιότητα και μόνο το καθιστά ιδιαίτερα δελεαστικό ως προς πολλές εφαρμογές. Προκύπτει από έναν συγκεκριμένο τύπο δομής της ζώνης του ηλεκτρονίου στην εσωτερική δομή των υλικών. Ανάμεσα στις ζώνες υπάρχει ένα κενό το οποίο σε συγκεκριμένες συνθήκες το διασχίζουν τα θερμικά διεγερμένα ηλεκτρόνια.

Η προσθήκη των προσμίξεων ή των ρύπων δημιουργεί άλλες συνθήκες. Είναι σημαντικός σ' αυτήν την ανάλυση ο ρόλος των ρύπων ως προς τον επηρεασμό της ροής των ηλεκτρονίων δια μέσου ενός υλικού. Εδώ, η ροή των ηλεκτρονίων επηρεάζεται πάλι όμως σ' αυτήν την περίπτωση με πιο ελέγξιμο τρόπο. Τα υλικά με πλέγμα σιλικόνης σχηματίζουν κράμα με συγκεκριμένες συγκεντρώσεις μιας πρόσμιξης, όπως το βόριο, μέσω μιας περίπλοκης κατάθεσης της διαδικασίας διαστρωμάτωσης για να διαμορφωθεί μια ημι-αγώγιμη συσκευή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές προσμίξεις διαφορετικών τύπων. Η συγκεκριμένη φύση αυτών των συναρμολογήσεων ορίζει τις χρήσιμες ηλεκτρικές τους ιδιότητες.

Η συνήθης κατασκευή μιας συσκευής αποτελείται από μια διακλάδωση των p και n ημι-αγωγών υλικών (κατασκευασμένα μέσω της χρήσης διαφορετικών προσμίξεων στα υποστρώματα σιλικόνης). Στον πρώτο τύπο του υλικού, τα n , ηλεκτρόνια με αρνητική φόρτιση κυριαρχούν. Στον δεύτερο τύπο, οι p οπές (θέσεις των ηλεκτρονίων που λείπουν) έχουν πρωταρχική παρουσία και έχουν σαν απόληξη τη θετική φόρτιση. Η εφαρμογή της αρνητικής φόρτισης στις p πλευρές προκαλεί την ηλεκτροστατική απομάκρυνση της μιας φόρτισης από την άλλη, δημιουργώντας έτσι μια ζώνη ελεύθερη από ηλεκτρόνια. Μέσα από αυτήν την περιοχή δεν περνά καθόλου εναλλασσόμενο ρεύμα. Η εφαρμογή της θετικής φόρτισης στις p πλευρές προκαλεί την αντίστροφη κατάσταση. Τα ηλεκτρόνια ρέουν δια μέσου της διαχωριστικής ζώνης δημιουργώντας εναλλασσόμενο ρεύμα.

3.3.3 Φωβολταϊκά, Δίοδοι εκπομπής φωτός, κρυσταλλολυχνίες , θερμοηλεκτρικά

Πολλές συσκευές που χρησιμοποιούνται ευρέως έχουν τη θεμελιώδη βάση τους στην τεχνολογία των ημι-αγωγών. Εδώ είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το βασικό υποκείμενο φαινόμενο έχει σχέση με τη συμπεριφορά των ημι-αγωγών που αναφέρθηκε παραπάνω. Μια φωτοβολταϊκή συσκευή αποτελείται πρωταρχικά από τη συνένωση του p και του n . Αντί να υπάρχει όμως μια εφαρμοσμένη τάση, όπως περιγράφηκε παραπάνω, υπάρχει μια συμπτωματική ενέργεια (συνήθως ηλιακή) που επιδρά στη συνένωση και παρέχει την παραγωγή εξωτερικής ενέργειας. Στα συνηθισμένα ηλιακά κελύφη, το επίστρωμα n διαμορφώνεται στην κορυφή του επιστρώματος p . Η συμπτωματική ενέργεια επιδρά στο n επίστρωμα. Αυτή η συμπτωματική ενέργεια προκαλεί μια μεταβολή στα επίπεδα των ηλεκτρονίων που με τη σειρά της γίνεται αίτια για την κίνηση των παρακείμενων ηλεκτρονίων λόγω των ηλεκτροστατικών δυνάμεων. Αυτή η κίνηση των ηλεκτρονίων παράγει μια ροή ρεύματος. Οι φωτοκρυσταλλολυχνίες είναι παρόμοιες ως προς την μετατροπή της ενεργειακής ακτινοβολίας του φωτός σε ρεύμα.

Οι κοινές δίοδοι εκπομπής φωτός (LEDs- light emitting diodes) βασίζονται ουσιαστικά στο αντίστροφο των φωτοβολταϊκών αποτελεσμάτων. Ένα LED είναι ένας ημι-αγωγός που φωτοβολεί όταν το ρεύμα το διαπερνά. Ουσιαστικά είναι το αντίθετο του φωτοβολταϊκού κελύφους. Οι κρυσταλλολυχνίες ομοίως βασίζονται στις τεχνολογίες ημι-αγωγών. Βασικά, η κρυσταλλολυχνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συσκευή επέκτασης σήματος ή σαν συσκευή εναλλαγής.

Οι *θερμοηλεκτρικές* συσκευές ή Peltier συσκευές είναι μια ηλεκτρονική μορφή αντλίας θέρμανσης. Μια συνηθισμένη συσκευή Peltier χρησιμοποιεί εισροή τάσης για να δημιουργήσει θερμικές ή ψυκτικές συνενώσεις. Τις βρίσκουμε στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές σαν ψυκτικές συσκευές, στα αυτοκίνητα και είδη νοικοκυριού σαν μικρούς θερμαντήρες ή ψύκτες. Όταν χρησιμοποιούνται, πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος για να μεταφερθεί η θέρμανση που δημιουργείται μακριά από τη μονάδα. Στις μεγαλύτερες μονάδες, χρησιμοποιούνται ευρέως οι ανεμιστήρες.

Τα *Laser* βρίσκεται παντού στη σημερινή τεχνολογία. Το φως του *Laser* προκύπτει μέσω μιας υποκινητικής εκπομπής. Σε ένα laser φως, ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να υποκινηθεί να περάσει από μια ενεργειακή κατάσταση σε άλλη λόγω της εισροής ενέργειας, και, συνεπώς, να εκπέμψει ένα φωτόνιο φωτός. Αυτό το συγκεκριμένο φωτόνιο μπορεί με τη σειρά του να υποκινήσει ένα άλλο ηλεκτρόνιο τα αλλάξει ενεργειακά επίπεδα και εκπέμψει άλλο φωτόνιο που δονείται στη φάση με το πρώτο. Η αλυσίδα συγκροτείται γρήγορα με αυξανόμενη ένταση. Τα φωτόνια που εκπέμπονται δονούνται στη φάση το ένα με το άλλο. Έτσι το φως έχει συνοχή με τη φάση. Ο όρος «συνεκτικό φως» χρησιμοποιείται συχνά. Το φως είναι μονοχρωματικό, που με τη σειρά του επιτρέπει να είναι πάρα πολύ εστιασμένο. Δεδομένου ότι το φως προκύπτει μέσω των υποκινητικών εκπομπών, υιοθετήθηκε το ακρωνύμιο Laser (δηλ. επέκταση φωτός μέσω της υποκινητικής εκπομπής ακτινοβολίας).

Υπάρχουν πολλοί τύποι των lasers που στηρίζονται σε διαφορετικές μεθόδους διέγερσης καθώς και στη χρήση διαφορετικών υλικών. Υπάρχουν lasers σε απόχρωση ρουμπινιού, lasers αερίου και άλλα. Η ισχύς μπορεί να διαφέρει. Τα lasers αερίου μπορεί να είναι ιδιαίτερα ισχυρά και κόβουν πολλά υλικά. Τα πιο διαδεδομένα lasers χρησιμοποιούνται στους εκτυπωτές, στους δείκτες, σε εργαλεία επιθεώρησης, στα επίπεδα οικοδομών κ.λ.π. συνήθως βασίζονται σε τεχνολογίες ημι-αγωγών.

3.3.4 Πιεζοηλεκτρικές επιδράσεις και υλικά

Σ' αυτήν την ενότητα θα γίνει εισαγωγή στον κόσμο της *πιεζοηλεκτρικής επίδρασης* που διαμορφώνει την υποκείμενη βάση για τα προϊόντα που ποικίλουν ανάμεσα σε μικρόφωνα και ηχία, χιονοπέδιλα μειωμένης δόνησης, κουμπιά κουδουνιών, και σε έναν ατέλειωτο αριθμό από αισθητήρες και μικρούς ενεργοποιητές. Όλες αυτές οι συσκευές περιλαμβάνουν τη χρήση πιεζοηλεκτρικού υλικού στο οποίο μια εφαρμοσμένη μηχανική δύναμη παράγει μια παραμόρφωση που με τη σειρά της παράγει ηλεκτρική τάση, ή αντίστροφα, μια εφαρμοσμένη τάση που προκαλεί μια μηχανική παραμόρφωση στο υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει μια δύναμη. Αυτό το γενικό φαινόμενο ονομάζεται πιεζοηλεκτρική επίδραση.

Το *πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο* παρατηρήθηκε από τους αδελφούς Pierre και Jacques Curie το 1880 όταν ήταν σε ηλικία 21 και 24 ετών αντίστοιχα. Παρατήρησαν ότι όταν εφαρμόζεται πίεση σε ένα πολωμένο κρύσταλλο, η μηχανική παραμόρφωση που επιφέρεται, είχε σαν αποτέλεσμα την ηλεκτρική φόρτιση. Το φαινόμενο βασίζεται σε μια αναστρέψιμη ενέργεια μετατροπής ανάμεσα στις ηλεκτρικές και μηχανικές μορφές που προκύπτουν φυσικά στα μόνιμα πολωμένα υλικά μέσα στα οποία κάποια μέρη των μορίων τους είναι θετικά φορτισμένα και άλλα μέρη είναι αρνητικά φορτισμένα. Πολλοί φυσικά βρήκαν ότι τα κρύσταλλα (π.χ. ο χαλαζίας) διακατέχονται από αυτήν την ιδιότητα, όπως πολλά από τα πρόσφατα αναπτυγμένα πολυμερή και κεραμικά. Αυτή η ιδιότητα περιέργως είναι παρεμφερής με εκείνη που έχει βρεθεί στους μαγνήτες όπου προκύπτει μόνιμη μαγνητική πόλωση, μόνο που εδώ έχουμε να κάνουμε με τις ηλεκτρικές φορτίσεις.

Στα πιεζοηλεκτρικά υλικά, κάθε κέλυφος ή μόριο είναι ένα δίπολο με θετικές και αρνητικές φορτίσεις σε κάθε άκρη. Υπάρχει ευθυγράμμιση των εσωτερικών ηλεκτρικών δίπολων. Αυτή η ευθυγράμμιση μπορεί να καταλήξει σε μια επιφάνεια φόρτισης, όμως αυτή η φόρτιση ουδετεροποιείται από τις παρούσες ελεύθερες φορτίσεις στην ατμόσφαιρα που τα περιβάλλει. Εφαρμόζεται μια δύναμη στο πιεζοηλεκτρικό υλικό που προξενεί τις παραμορφώσεις, που με τη σειρά του μεταβάλλει την ουδετεροποιημένη κατάσταση της επιφάνειας με την αλλαγή του προσανατολισμού των δίπολων. Μπορεί να επιτευχθεί και η αντιστροφή. Η εφαρμογή της τάσης προκαλεί την ευθυγράμμιση των πολωμένων μορίων με το ηλεκτρικό πεδίο, που με τη σειρά του προκαλεί την ανάπτυξη της παραμόρφωσης.

Η πιεζοηλεκτρική επίδραση έχει προ καιρού αξιοποιηθεί σε πολλές διαφορετικές συσκευές. Η, προφανώς, επιθυμητή ιδιότητα όπου η πίεση παράγει τάση χρησιμοποιείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Στα κουδούνια της πόρτας, μια εφαρμοσμένη δύναμη παράγει τάση, που με τη σειρά της χρησιμοποιείται για να ελέγξει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλώντας το εκνευριστικό στ' αυτιά κουδούνισμα ή το ευχάριστο βουητό. Στον λαμπτήρα άνθρακα, που αναφέρθηκε παραπάνω, η εφαρμογή μιας δύναμης σε μια πιεζοηλεκτρική συσκευή προκαλεί μια ανάφλεξη σπινθήρα. Είναι λιγότερο προφανές σε πολλούς ανθρώπους, όμως χρησιμοποιούνται ευρέως, μια πλειάδα πιεζοηλεκτρικών συσκευών με χρήση μικρών

ενεργοποιητών που ελέγχονται με ηλεκτρισμό και χρησιμοποιούνται σε έναν μεγάλο αριθμό μηχανικών και βιομηχανικών περιπτώσεων όπου μια μικρή τάση προκαλεί και κίνηση ενός μέρους το οποίο ελέγχει κάτι άλλο, όπως η βαλβίδα.

Η πιεζοηλεκτρική επίδραση είναι κυριολεκτικά στιγμιαία και οι πιεζοηλεκτρικές συσκευές μπορούν να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε μικρές πιέσεις ή τάσεις. Πολλά μικρόφωνα που βασίζονται σε πιεζοηλεκτρικά υλικά μετατρέπουν μια ακουστική πίεση σε τάση. Εναλλακτικά, στα πιεζοηλεκτρικά ηχεία, η εφαρμογή ηλεκτρικής φόρτισης προκαλεί τη μηχανική παραμόρφωση, που με τη σειρά της δημιουργεί ακουστική πίεση.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί σε χιονοπέδιλα προκειμένου να εξαλείψουν τις ανεπιθύμητες δονήσεις που προκύπτουν κάτω από ορισμένες συνθήκες. Εδώ, η πιεζοηλεκτρική επίδραση εξαφανίζει τις δονήσεις μέσω της διασκόρπισης της ηλεκτρικής ενέργειας που αναπτύσσεται κατά μήκος μιας διακλάδωσης. Άλλες περιπτώσεις σε πολλά προϊόντα, που εμπεριέχουν δονητικές κινήσεις, μπορούν επιλεκτικά να εξαλειφθούν χρησιμοποιώντας παρεμφερείς τεχνολογίες.

3.3.5 Κράματα που έχουν μνήμη σχήματος

Προκαλεί έκπληξη ίσως το γεγονός ότι οι σκελετοί στα γυαλιά ηλίου που είναι εξαιρετικά ευλύγιστοι, τα ιατρικά μπαλονάκια για το άνοιγμα αρτηριών που είναι εμφυτευμένα σε συμπιεσμένη μορφή και μετά εξαπλώνονται στο σωστό μέγεθος και παίρνουν σχήμα όταν θερμαίνονται από το σώμα, οι μικροσκοπικοί ενεργοποιητές που εξωθούν τους δίσκους στους laptop ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι μικρές μικροβαλβίδες και μια πλειάδα άλλων συσκευών, μοιράζονται όλα μια κοινή τεχνολογία υλικών. Η ενδιαφέρουσα συμπεριφορά καθενός από αυτές τις συσκευές βασίζεται στο φαινόμενο που ονομάζεται «επίδραση της μνήμης του μεγέθους» που αναφέρεται στην ικανότητα ενός συγκεκριμένου είδους κράματος υλικού να αντιστρέφει ή να θυμάται ένα προγενέστερα σχήμα που είχε. Το χαρακτηριστικό προέρχεται από τη μετατροπή φάσης των χαρακτηριστικών του υλικού. Σε ένα κράμα που έχει μνήμη σχήματος προκύπτει μια στερεά κατάσταση μεταβολής φάσης – μια

μοριακή αναδιάταξη – που είναι εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία και είναι αναστρέψιμη. Για παράδειγμα, το υλικό μπορεί να πάρει το σχήμα του μέσα σε έναν σχεδιασμό σε υψηλή θερμοκρασία, και να απολέσει σε δραματικό βαθμό τη μορφή του ενώ βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, και μετά να επιστρέψει στο αρχικό του σχήμα με την εφαρμογή της όποιας θερμότητας, συμπεριλαμβανόμενης αυτής που εκπέμπεται μέσω του ηλεκτρικού ρεύματος. Η επίδραση της μνήμης σχήματος σχετίζεται επίσης με το φαινόμενο της υπερελαστικότητας – της ικανότητας που έχει ένα υλικό να υφίσταται πολύ μεγάλη ελαστικότητα ή αναστρέψιμες παραμορφώσεις.

Τα κράματα Νικελίου-Τιτανίου (NiTi) χρησιμοποιούνται ευρέως στις εφαρμογές «μνήμης σχήματος» παρόλο που πολλά άλλα είδη κραμάτων παρουσιάζουν επίσης τέτοιες επιδράσεις. Αυτά τα κράματα υπάρχουν σε τελική μορφή προϊόντος σε δύο διαφορετικές εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία κρυσταλλικές καταστάσεις ή φάσεις. Η φάση της αρχικής και υψηλότερης θερμοκρασίας καλείται οστενική κατάσταση. Η φάση της χαμηλότερης θερμοκρασίας καλείται μαρτενσική κατάσταση. Οι φυσικές ιδιότητες ενός υλικού στην οστενική και μαρτενσική κατάσταση είναι ιδιαίτερα διαφορετικές. Το υλικό στην οστενική κατάσταση είναι δυνατό και σκληρό, ενώ στη μαρτενσική φάση είναι μαλακό και εύπλαστο. Η οστενική κρυσταλλική δομή είναι μια απλή κυβική δομή με επίκεντρο το σώμα, ενώ η μαρτενσική δομή πιο περίπλοκη ρομβική δομή.

Σε ό,τι αφορά την καμπύλη έντασης-διάτασης, η υψηλότερη θερμοκρασία οστενίτη συμπεριφέρεται με παρεμφερή τρόπο στα περισσότερα υλικά. Όμως, η καμπύλη έντασης-διάτασης της μαρτενσικής δομής που διέπεται από χαμηλότερη θερμοκρασία, μοιάζει σχεδόν με ελαστομερή διότι έχει χαρακτηριστικά «σταθεροποίησης» της παραμόρφωσης λόγω της έντασης όπου οι μεγάλες παραμορφώσεις μπορούν να προκύψουν εύκολα με χαμηλές θερμοκρασίες. Σ' αυτήν την κατάσταση συμπεριφέρεται σαν καθαρό κουτί κονσέρβας, το οποίο (μέσα σε κάποια όρια) μπορεί να λυγίζει κατ' επανάληψη μπροστά και πίσω δίχως σκλήρυνση διάτασης και μπορεί έτσι να χαλάσει. Το υλικό σε μαρτενσική κατάσταση χαμηλότερης θερμοκρασίας έχει «δίδυμη» κρυσταλλική δομή, που περιλαμβάνει μια πιστή αναπαράσταση συμμετρικής μετατόπισης ατόμων κατά μήκος ενός συγκεκριμένου επιπέδου.

Τα δίδυμα όρια είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε να μπορούν να κινηθούν εύκολα. Αντίθετα με τα πολλά μέταλλα που υφίστανται παραμορφώσεις λόγω της ολίσθησης ή της κίνησης της απορύθμισης, η παραμόρφωση σε δίδυμες δομή προκύπτει μέσω των μεγάλων αλλαγών στον προσανατολισμό όλης της κρυσταλλικής δομής με σχετίζονται με τις κινήσεις των δίδυμων ορίων.

Η αντίδραση της μνήμης του σχήματος που προκαλείται θερμικά έχει σχέση με τις διαφορετικές φάσεις. Στο πρωταρχικό περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας, το υλικό είναι σε οστενική φάση. Με την ψύξη το υλικό γίνεται μαρτενσιτικό. Όταν επέρχεται ψύξη δεν συμβαίνει καμία προφανή μεταβολή σχήματος, όμως τώρα το υλικό μπορεί να παραμορφωθεί μηχανικά. Θα παραμείνει παραμορφωμένο ενώ είναι παγωμένο. Όταν θερμαίνεται, η οστενική δομή εμφανίζεται ξανά και το υλικό επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα.

Μπορεί επίσης να προκύψει ένα σχετιζόμενο φαινόμενο που προκαλείται μηχανικά και λέγεται *υπερελαστικότητα*. Η εφαρμογή έντασης σ' ένα κράμα που έχει μνήμη σχήματος και έχει παραμορφωθεί προκαλεί μετατροπή φάσης, από την οστενική στην μαρτενσική φάση, (κατά την οποία υπάρχει μεγάλη δυνατότητα παραμόρφωσης). Η ένταση κάνει το μαρτενσίτη να διαμορφώνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τις προγενέστερες και υπάρχει υψηλός βαθμός πλαστικότητας που συνδέεται με το μαρτενσίτη. Οι σχετιζόμενες διατάσεις ή παραμορφώσεις είναι αναστρέψιμες όταν το επίπεδο της εφαρμοσμένης έντασης φεύγει και το υλικό επιστρέφει στην οστενική φάση. Μπορούν να επιτευχθούν υψηλές παραμορφώσεις της τάξεως του 5-8%. Δεν χρειάζονται αλλαγές στην εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος προκειμένου να προκύψει το φαινόμενο της υπερελαστικότητας.

Ο λόγος που προκύπτουν αυτά τα φαινόμενα είναι πρωταρχικά η ανάγκη για κρυστάλλινο πλέγμα προκειμένου να τοποθετηθεί στην ελάχιστη ενεργειακή κατάσταση σε μια δεδομένη θερμοκρασία. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διατάξεις που μπορεί να πάρει ένα κρυστάλλινο πλέγμα στη μαρτενσική φάση, ενώ στον αντίποδα στην οστενική φάση μπορεί να πάρει μόνο μία διάταξη ή προσανατολισμό, και όλες οι μαρτενσικές διατάξεις πρέπει τελικά να επιστρέψουν σ' ένα αρχικό σχήμα

και δομή κατά τη διάρκεια της θέρμανσης μετά την κρίσιμη θερμοκρασία μετάβασης φάσης. Η διαδικασία που περιγράφηκε επαναλαμβάνεται για όσο διατηρούνται τα όρια που έχουν να κάνουν με τις φάσεις μετάβασης. Κάτω από επίπεδα υψηλής έντασης ή παραμόρφωσης, μετά από επαναλαμβανόμενους κύκλους, μπορεί να προκύψει μια μορφή ανεπάρκειας λόγω κόπωσης.

Και τα δύο πρωταρχικά φαινόμενα που συσχετίζονται με τις επιδράσεις της μνήμης σχήματος – οι επιδράσεις που προκαλούνται θερμικά και αυτές που προκαλούνται μηχανικά – έχουν άμεσες εφαρμογές. Στη επίδραση της μνήμης σχήματος που σχετίζεται με το θερμικό περιβάλλον, ένα υλικό που έχει ένα αρχικό σχήμα, ενώ βρίσκεται στην υψηλής θερμοκρασίας οστενική φάση, μπορεί μεταγενέστερα να παραμορφωθεί, ενώ βρίσκεται στην χαμηλότερης θερμοκρασίας μαρτενσική φάση. Όταν, στην οστενική φάση, επαναθερμαίνεται σε υψηλότερη θερμοκρασία μέσω ενός ερεθίσματος θέρμανσης, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα (χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οποιαδήποτε πηγή θέρμανσης δε θα λειτουργούσε), το κράμα επιστρέφει το αρχικό του σχήμα. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, δημιουργείται μια υψηλή δύναμη μέσω ενός υλικού που αλλάζει φάση. Έτσι, το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ενεργοποιητής σε πάρα πολλές εφαρμογές. Συνήθως το υλικό παρέχει μια πρωταρχική δύναμη ή ενεργοποιητική κίνηση όντας μέρος μια μεγαλύτερης συσκευής. Δεδομένου ότι η δύναμη και η κίνηση λαμβάνουν χώρα μέσα στο ίδιο το υλικό, οι συσκευές που το χρησιμοποιούν, συχνά, είναι πολύ απλές συγκρινόμενες με τους πιο παραδοσιακούς μηχανολογικούς ενεργοποιητές. Η θερμότητα με τη μορφή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι εύκολο να εφαρμοστεί και να ελεγχθεί ηλεκτρονικά. Άρα, τα κράματα με μνήμη σχήματος έχουν ευρεία χρήση στο άνοιγμα των αυτόματων κλειδαριών καθώς και σε μια πλειάδα άλλες συσκευές.

Κατά την επίδραση της μνήμης σχήματος που σχετίζεται με το μηχανολογικό περιβάλλον, ή την υπερελαστικότητα, το υλικό μπορεί να υποστεί μια ελαστική παραμόρφωση (που προκαλείται από εξωτερική πηγή) που μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο είκοσι φορές και ή και παραπάνω της ελαστικής διάτασης του κανονικού σιδήρου. Έτσι τα υπερελαστικά υλικά παρουσιάζουν απίστευτες ικανότητες παραμόρφωσης και παρόλα αυτά επιστρέφουν στο αρχικό τους σχήμα. Μια αρχική χρήση των υπερελαστικών υλικών, ως προς την καταναλωτική χρήση, ήταν οι

σκελετοί των γυαλιών για τα μάτια που μπορούσαν φαινομενικά να δένονται σε κόμπους αλλά μετά το λύσιμο των κόμπων επανέρχονταν στο αρχικό τους σχήμα.

Τα Μαγνητικά Υλικά Μνήμης Σχήματος ή Magnetic Shape Memory (MSM) υλικά είναι μεταλλικά κράματα μονού κρυστάλλου, τα οποία μετατρέπουν ηλεκτρική ισχύ (μαγνητικό πεδίο) σε μηχανική ισχύ και αντίστροφα. Αναπτύχθηκαν κυρίως για εφαρμογές ενεργοποιητών (actuator) και αισθητήρων (sensor), και αναμένεται στο μέλλον να αντικαταστήσουν ολόκληρα μηχανικά μέρη και παραδοσιακές τεχνολογίες.

(61) Τα υλικά MSM συνδυάζουν τις μεγάλες και περίπλοκες αλλαγές σχήματος των κραμάτων με χαρακτηριστικά μνήμης σχήματος με την ταχύτατη και ακριβή απόκριση που δίνει ο μαγνητικός έλεγχος. Κάνουν δυνατή την απευθείας δημιουργία κίνησης και δύναμης σε μία μηχανή χωρίς τη χρήση κινητήρων, κιβωτίων ταχυτήτων μετατροπέων και άλλων στοιχείων μηχανών. Οι αλλαγές σχήματος στα MSM υλικά μπορούν να σχετίζονται με έκταση ή επιμήκυνση, κάμψη, στρέψη κλπ. Εξ αιτίας των μοναδικών ιδιοτήτων των MSM υλικών, οι ηλεκτρομηχανικές συσκευές και μηχανές γίνονται απλούστερες, μικρότερες και περισσότερο αξιόπιστες αφού ένα μόνο στοιχείο υλοποιημένο από MSM υλικό μπορεί να αντικαταστήσει ολόκληρο μηχανισμό. Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο MSM υλικό είναι το TERFENOL-D. Είναι πιο ισχυρό και από άλλα ευφυή υλικά και αποδίδει αξιόπιστα ακόμα και σε υλοποιήσεις μικρού μεγέθους. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν το TERFENOL-D ελέγχονται από ηλεκτρικό σήμα χαμηλής τάσης. Το TERFENOL-D αναπτύχθηκε για την κατασκευή ηχοβολιστικών συσκευών (sonar) που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων λειτουργίας και αυξημένη αξιοπιστία.

Ένα νέος τύπος MSM υλικού αναπτύχθηκε πρόσφατα από τη Φινλανδική εταιρεία AdaptaMat. Πρόκειται για νέα κράματα μονού κρυστάλλου (single crystalline), π.χ. Ni-Mn-Ga. Αυτά τα νέα υλικά χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση ηλεκτρομηχανικών ενεργοποιητών (actuator) και αισθητήρων. Το σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των νέων υλικών σε σχέση με τα παλαιότερα είναι ότι αναπτύσσουν παραμορφώσεις μέχρι 6%, δηλαδή 50 φορές περισσότερο από τα καλύτερα σημερινά υλικά ενεργοποιητών. (Για παράδειγμα το Terfenol-D παράγει παραμορφώσεις μέχρι 0,12%

ενώ τα πιεζοκεραμικά χαμηλότερες.) Το φαινόμενο πραγματοποιείται και αντίστροφα, δηλαδή μηχανικές φορτίσεις ενός MSM υλικού προκαλούν αλλαγές στο περιβάλλον μαγνητικό πεδίο. Το φαινόμενο αυτό είναι τεχνολογικά αξιοποιήσιμο σε εφαρμογές αισθητήρων. Οι κυριότερες εφαρμογές για τα MSM υλικά είναι στις ακόλουθες συσκευές:

- Βαλβίδες ελέγχου υψηλής ταχύτητας (αναλογικές βαλβίδες, βαλβίδες εμβόλου κλπ.)
- Εγχυτήρες (καυσίμου, εκτυπωτικής μελάνης, βιοϊατρικοί, κ.τ.λ.), δΟΣολόγοι.
- Ρομποτικοί βραχίονες και χειριστές (robot manipulators), για τους οποίους απαιτείται ταχύτατη ανταπόκριση και υψηλή συχνότητα λειτουργίας.
- Γραμμικοί κινητήρες, εφαρμογές σε συσκευές τοποθέτησης (positioning) υψηλής ακρίβειας
- Αντλίες και μικροαντλίες (π.χ. αντλίες ψύξης για ηλεκτρονικές συσκευές)
- Ενεργή απόσβεση ταλαντώσεων, δονήσεων και κραδασμών.
- Μηχανικοί συζεύκτες (φρένα, δαγκάνες, συγκρατητήρες)
- Ηχοβολιστικές συσκευές (sonars), εφαρμογές υπερήχων, μεγάφωνα.
- Ηλεκτρικές συνδεσμολογίες (ηλεκτρονόμοι, διακόπτες κυκλώματος)
- Εφαρμογές αισθητήρων (αισθητήρες θέσης, χειριστήρια -joysticks, παρακολούθηση δονήσεων)
- Διάφορες εφαρμογές MEMS ενεργοποιητών (actuators)

Ο μηχανισμός MSM βασίζεται στην κίνηση των μαγνητικών περιοχών των κρυστάλλων υπό την επίδραση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, όταν το υλικό ευρίσκεται σε πλήρη μαρτενσιτική κατάσταση (complete martensite state). Όταν το MSM υλικό υπόκειται σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο τα μαγνητικά δίπολα που είναι προσανατολισμένα σε ευνοϊκή κατεύθυνση (παράλληλη ή σχεδόν παράλληλη) σχετικά με την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου αυξάνονται σε βάρος των άλλων διπόλων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην αλλαγή του σχήματος του υλικού.

Μία άλλη κατηγορία ευφυών υλικών είναι τα **μαγνητοσυσταλτικά (magnetostrictors) υλικά**. Μαγνητοσυστολή είναι η αλλαγή του μεγέθους ενός αντικειμένου εξ' αιτίας ενός εξωτερικού εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου. Η

ιδιότητα αυτή είναι πολύ χρήσιμη για την κατασκευή τηλε- μηχανισμών εφαρμογής (remote actuator systems), μετατρέποντας ένα μαγνητικό σήμα (είσοδος) σε μηχανική έξοδο. Μια τυπική τέτοιου είδους διαμόρφωση είναι μια πρόβολος μικροδοκός ή μεμβράνη που επικαλύπτεται απ' τη μια πλευρά της με μαγνητοσυσταλτικό υλικό. Παρουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου δημιουργείται συσσώρευση τάσεων και η μικροκατασκευή κάμπτεται σε κάποιο σημείο. Χαρακτηριστικά μαγνητοσυσταλτικά υλικά είναι κράματα NdFe, TbCo και πολυστρωματικά υμένα TbFe/TbCo, καθώς έχουν υψηλό συντελεστή μαγνητοσυστολής. Ένα άλλο υλικό που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι το Tefonel-D ($Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe_2$) και χρησιμοποιείται κυρίως στους μικρό-αισθητήρες. Η σύγχρονη εποχή του φαινομένου της μαγνητοσυστολής ξεκίνησε το 1963 όταν η παραμόρφωση των σπάνιων υλικών της γης, όπως του τερβίου (Tb) και του δυσπροσίου (Dy), πλησίασε το 1% σε κρυογενικές θερμοκρασίες. Μέχρι τότε πολλά υλικά είχαν παρουσιάσει μαγνητοσυστολική συμπεριφορά, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων υλικών σε θερμοκρασίες δωματίου, αλλά η μέγιστη μαγνητοσυστολή παρατηρήθηκε στα κράματα, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από τις θερμοκρασίες δωματίου, πράγμα που τα καθιστά ιδανικά για τις κρυογονικές συσκευές.

3.3.6 Πολυμερή με μνήμη σχήματος

Τα κράματα δεν είναι τα μόνο υλικά που παρουσιάζουν αντιδράσεις μνήμης σχήματος. Έχει καταβληθεί, με καθόλου ευκαταφρόνητη επιτυχία, μεγάλη προσπάθεια ώστε τα μηχανολογικά πολυμερή να έχουν τις ίδιες επιδράσεις. Οι εφαρμογές είναι τεράστιες, δεδομένου ότι τα πολυμερή μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα σε πολλές διαφορετικές μορφές. Οι ιατρικές εφαρμογές, για παράδειγμα, περιλαμβάνουν την ανάπτυξη πολυμερών νημάτων που έχουν μνήμη σχήματος προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στις χειρουργικές επεμβάσεις σαν κόμποι που δένονται μόνοι τους. Τα νήματα χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν τα αιμοφόρα αγγεία. Στα νήματα δίνεται ένα αρχικό σχήμα, τυλίγονται γύρω από ένα αγγείο, και, όπως η θερμότητα του σώματος λειτουργεί στο πολυμερές, το νήμα δένεται σε κόμπο (το σχήμα που θυμάται).

4. ΚΛΑΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ(66)

4.1 Μεταφορές

Στις μεταφορές, η μεγαλύτερη προσπάθεια στην Έρευνα και Ανάπτυξη των έξυπνων υλικών είναι στον κλάδο της στρατιωτικής αεροπορίας, ακολουθεί η αυτοκινητοβιομηχανία και η ναυτιλία. Στον κλάδο των σιδηρόδρομων φαίνεται να υπάρχει μικρή εφαρμογή, ίσως λόγω του συντηρητισμού και την έλλειψη επενδύσεων.

Οι απαιτήσεις για έξυπνα υλικά στον κλάδο των μεταφορών μπορούν να γενικευτούν. Για παράδειγμα, υπάρχει ανάγκη για υλικά με καλύτερες λειτουργικές ιδιότητες όπως τον πιεζοηλεκτρισμό ή την επίδραση της μνήμης του μεγέθους. Η συναρμολόγηση των έξυπνων υλικών για να καταστήσουν την δομή «έξυπνη» ή ευφυή είναι επίσης σημαντική και αυτό, συγκεκριμένα, ήταν το εμπόδιο για την εξερεύνηση σ' αυτόν το κλάδο.

4.1.1 Αεροπλοΐα

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, σημαντικά προγράμματα έχουν χρηματοδοτηθεί από φορείς όπως τα Εργαστήρια Έρευνας της Αεροπορίας, τα Εργαστήρια Έρευνας του Στρατού, το Εργαστήριο Έρευνας του Ναυτικού, το Εργαστήριο Αεριοθνήρα και τη NASA, καθώς επίσης τις μεγάλες αεροδιαστημικές εταιρίες. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των χρηματοδοτήσεων έχει κατευθυνθεί σε πανεπιστήμια των Η.Π.Α., τα οποία παράγουν έναν αριθμό πετυχημένων SMEs(έξυπνων υλικών). Πιο συγκεκριμένα, οι Η.Π.Α. έχουν επικεντρωθεί στην προσπάθεια για έρευνα των ενεργών έξυπνων υλικών σ' αυτόν τον κλάδο και κατά συνέπεια είναι ο ηγέτης παγκοσμίως.

Στην Ευρώπη, υπάρχουν μικρότερες πρωτοβουλίες που αφορούν προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση, προγράμματα αμύνης χρηματοδοτούμενα από την Ένωση Δυτικής Ευρώπης και της αεροδιαστημικές εταιρίες, ιδιαίτερα εκείνες που τώρα κατασκευάζουν Ευρωπαϊκά Συστήματα Αεροδιαστήματος και Άμυνας. (EADS – European Aerospace Defence Systems).

Άλλες εταιρίες όπως η MBDA και η Dassault καθώς επίσης και άλλοι οργανισμοί όπως το Γερμανικό Κέντρο Έρευνας Αεροδιαστήματος, (DLR), το Ολλανδικό αντίστοιχο (NLR) και άλλα ερευνητικά ιδρύματα και εταιρίες έχουν επίσης αναμειχθεί και στις παθητικές εφαρμογές (που έχουν να κάνουν μόνο με την αίσθηση) όπως ο δομικός έλεγχος της υγείας αλλά και σε ενεργές εφαρμογές.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η δραστηριότητα είναι σε μικρότερο βαθμό, με τις προσπάθειες να επικεντρώνονται σε παθητικές εφαρμογές όπως την υγεία και τη χρήση συστημάτων ελέγχου (HUMS) για τον έλεγχο των μηχανών και ανίχνευση των ζημιών. Στα ελικόπτερα, τα διαγνωστικά της δόνησης χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των κιβωτίων ταχυτήτων για ζημιές και υπάρχει ανάγκη για επέκταση στην ανίχνευση ζημιών στα πτερύγια. Διερευνώνται επίσης οι εφαρμογές στο περίγραμμα των ενεργών πτερυγίων και στα συστήματα ελέγχου της ενεργής δόνησης, όμως η δύναμη και οι μετατοπίσεις που απαιτούνται είναι πρόβλημα στα παρόντα υλικά, και έχει σαν αποτέλεσμα τις απαιτήσεις υψηλής δυναμικότητας πυκνότητας για τέτοιες εφαρμογές. Η χρήση των έξυπνων υλικών όπως τα πιεζοηλεκτρικά ινώδη συνθετικά μπορούν να βοηθήσουν στην έρευνα, όμως η ανάπτυξη αυτού του τύπου του υλικού είναι στα πρώιμα στάδια και συνεπώς η εφαρμογή του είναι ακόμη μακριά.

Αεροπλάνα που θα ελέγχουν την καταπόνησή τους σε όλη τη διάρκεια της πτήσης και θα έχουν έτοιμη την αναφορά τους στον υπολογιστή σε συνδυασμό με υλικά που θα αυτοεπισκευάζονται προετοιμάζει η τεχνολογία για τον επόμενο αιώνα. Και θα πετύχει εκείνο που ως σήμερα δεν έχει γίνει πραγματικότητα: να μειωθεί ή και να αποτραπεί η επικίνδυνη καταπόνηση.

Μέχρι σήμερα, όσο και αν εξελίχθηκε η τεχνολογία στην κατασκευή και επιθεώρηση των αεροσκαφών, ποτέ δεν έπαψαν να γίνονται ατυχήματα, συχνά μάλιστα με πολλά θύματα. Όπως εμφανίζεται η γήρανση σε κάθε ζωντανό οργανισμό έτσι και σε σύνθετες κατασκευές η κόπωση των υλικών συχνά έχει ολέθρια αποτελέσματα. Οι προσπάθειες της επιστήμης συγκεντρώνονται στις οπτικές ίνες που, διατρέχοντας ουσιαστικά ένα μεγάλο μέρος τους αεροπλάνου, θα προσθέσουν υψηλής τεχνολογίας νευρικό σύστημα στα έως χθες «άψυχα» αεροπλάνα. Οι οπτικοί αισθητήρες θα βλέπουν για αεροδυναμικές δυνάμεις, θα προσδιορίζουν ζημιές που οφείλονται σε χτυπήματα θα μπορούν ακόμη και να ψάχνουν για αλλαγές στα υλικά λόγω

διάβρωσης. Δικαιολογημένα λοιπόν η κόπωση των υλικών στα αεροπλάνα απασχολεί πολύ σοβαρά σχεδιαστές, μηχανικούς και το ειδικό προσωπικό εδάφους στα αεροδρόμια.

Ωστόσο η επιθεώρηση για μικροσκοπικές ρωγμές στο υλικό είναι μια πολύ επίπονη διαδικασία. Σε κάθε προσγείωση γίνονται έλεγχοι με γυμνό μάτι ώστε να εντοπισθούν τα περισσότερο εμφανή σημεία. Επιπλέον σε τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται και εκτεταμένη επιθεώρηση με ειδικά τεχνικά μέσα, όπως άλλωστε προβλέπεται από τους κανονισμούς. Είναι εκείνη η περίπτωση που οι τεχνικοί στην κυριολεξία γδύνουν το αεροπλάνο απ' όλο τον πρόσθετο εξοπλισμό. Είναι αυτό ακριβώς το σημείο που χρησιμοποιούνται τα καλύτερα τεχνικά μέσα, όπως οι συσκευές υπέρηχων. Όμως μια τόσο αναλυτική επιθεώρηση απαιτεί αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθεί ώστε οι τεχνικοί να σχηματίσουν μια πλήρη εικόνα.

Υπολογίζεται πάντως ότι αν όντως τα συστήματα αυτά αποδειχθούν και στην πράξη αποτελεσματικά τότε το κόστος συντήρησης θα μειωθεί στο μισό. Ενδεικτικό είναι ότι οι αεροπορικές εταιρείες δαπανούν περί τα 30 δισ. δολάρια για τη συντήρηση κάθε χρόνο. Τα παραδείγματα, όπως παρουσιάζονται από την προοπτική των πραγμάτων σήμερα, είναι πάρα πολλά. Εξυπνες πτέρυγες και χώροι αποσκευών που θα προειδοποιούν για ρωγμές στο υλικό κατασκευής. Ίσως τα συστήματα να προβαίνουν ακόμη και σε επισκευές, όπου και όταν θα είναι εφικτό. Πίσω από κάθε έλεγχο, αλλά και κάθε σχετική ενέργεια θα είναι ένα ισχυρός υπολογιστής κατάλληλα προγραμματισμένος.

Με αλλά λόγια, η αεροπλοΐα, με την εξαιρετικά γρήγορη και εξειδικευμένη εξέλιξη της τεχνολογίας, εισέρχεται σε μια άλλη εποχή. Όλες οι διαδικασίες για τον έλεγχο και την επισκευή των αεροπλάνων θα βρίσκονται κάτω από την κοινή ομπρέλα της αυτοεπιτήρησης. Και όπως εύκολα μπορεί να καταλάβει κανείς όλα θα αλλάξουν σε ένα τόσο ευαίσθητο χώρο. Από τον εντοπισμό και την καταγραφή κάθε μεμονωμένου προβλήματος μέχρι τον τρόπο επισκευής, το κόστος και το χρόνο για την ολοκλήρωσή της. Το σημαντικό όμως είναι ότι έτσι τα σκάφη θα γίνουν ασφαλέστερα.

Αυτοθεραπευόμενα υλικά ανέπτυξαν ερευνητές, που έχουν δημιουργήσει το πρώτο υλικό που επισκευάζεται αυτόματα, και που προσφέρει έναν δυναμικό τρόπο για την στεγανοποίηση τριχοειδών ρωγμών που αναπτύσσονται σε σύνθετα υλικά, και που

χρησιμοποιούνται σε πολλά είδη, από τις ρακέτες αντισφαίρισης έως στα αεροσκάφη. Το μυστικό των επιστημόνων: μικροσκοπικές κάψες κόλλας που προστίθενται στο σύνθετο υλικό.

Ο Scott White, ένας καθηγητής της Αεροναυτικής Εφαρμοσμένης Μηχανικής στο Πανεπιστήμιο του Ιλλινόις Urbana-Champaign, που καθοδηγεί τη μελέτη ισχυρίζεται ότι αυτά τα έξυπνα αυτοθεραπευόμενα υλικά έχουν έναν τεράστιο αριθμό εφαρμογών. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες γυαλιού, άνθρακα ή άλλων ουσιών με ανάμιξη μιας ρητίνης. Το fiberglass είναι ένας τύπος σύνθετου υλικού. Η ζημία στα σύνθετα υλικά αρχίζει συχνά ως μικροσκοπικές ρωγμές. Δεδομένου ότι όταν αυξάνονται, αποδυναμώνουν το υλικό έως ότου σπάσει. Για να θεραπεύσουν αυτόματα τις μικροσκοπικές ρωγμές, οι ερευνητές του Ιλλινόις ψέκασαν κάψουλες στο πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας, μέσω ενός πειραματικού fiberglass παρόμοιας σύνθεσης. Όταν μια ρωγμή εμφανίστηκε, οι κάψουλες στην πορεία τους σπάζοντας άνοιξαν, ρίχνοντας το περιεχόμενό τους και έτσι σφράγισαν τις ρωγμές. Η ένωση διατήρησε το 75 τοις εκατό της αρχικής της δύναμης αφότου είχαν θεραπευτεί οι ρωγμές για 48 ώρες, ανέφεραν οι ερευνητές. Εντούτοις το υλικό δεν είναι ακόμα έτοιμο για την εμπορική παραγωγή. Σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 200 βαθμούς σταματά να δουλεύει και ο χρόνος της θεραπείας είναι πάρα πολύ μεγάλος για πολλές εφαρμογές. Το ευφύες αυτό υλικό περιέχει 100 έως 200 κάψουλες ανά κυβική ίντσα. Ενώ όλες οι κάψουλες θα σπάσουν τελικά, τα αντικείμενα που γίνονται με το έξυπνο αυτό υλικό θα μπορούσαν να διαρκέσουν αρκετές φορές πιο πολύ από εκείνα που είναι φτιαγμένα από τα τρέχοντα σύνθετα υλικά. Τα υλικά όπως είναι το συνθετικό αυτοθεραπευόμενο υλικό, είναι μέρος του τομέα των έξυπνων υλικών που βρίσκεται ακόμη σε νηπιακό στάδιο.

Αντικείμενα όπως διαστημικά σκάφη, τεχνητές συνδέσεις και υποστηρίξεις γεφυρών, που είναι δύσκολο ή αδύνατο να τα φτάσουμε, είναι πρωταρχικά υποψήφια για τα αυτοθεραπευόμενα υλικά.

(68)"Τα πουλιά είναι τόσο πολύ πιά ευκίνητα από τα αεροπλάνα που έχουμε σήμερα. Τα πουλιά μπορούν να αιωρηθούν, μπορούν να πετάξουν προς τα πίσω και λοξά. Και

τα έντομα αναποδογυρίζονται, κάνουν looping, όλα τα είδη των πραγμάτων." Anna McGowan, διευθύντρια προγράμματος στο ερευνητικό κέντρο Langley της NASA.

(61) Τα "προσωπικά αεροσκάφη" που αντικαθιστούν το αγαπημένο αυτοκίνητο στα γκαράζ των ανθρώπων μπορούν ακόμα να βρίσκονται στη σφαίρα των κινούμενων σχεδίων επιστημονικής φαντασίας, αλλά οι ερευνητές στο ερευνητικό κέντρο Langley της NASA (LaRC) αναπτύσσουν τις εξωτικές τεχνολογίες που θα μπορούσαν να φέρουν ένα προσωπικό "αέρο-αυτοκίνητο" πιο κοντά στην πραγματικότητα.



Και τα αέρα-αυτοκίνητα είναι ακριβώς η αρχή.

Αυτοθεραπευόμενα φτερά που λυγίζουν και αντιδρούν όπως οι οργανισμοί διαβίωσης, ευπροσάρμοστα βομβαρδιστικά αεροπλάνα που συμπεριφέρονται και ως ευκίνητα αεριωθούμενα μαχητικά, και σμήνη μικροσκοπικών τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών, είναι όμοια ακριβώς με μερικά από αυτά που συναντάμε στην επιστημονική φαντασία, που αυτές οι τεχνολογίες της επόμενης παραγωγής θα μπορούσαν να καταστήσουν εφικτές σε μερικές δεκαετίες μπροστά.

Στον πυρήνα αυτού του επικείμενου κβαντικού πηδήματος στην αεροδιαστημική τεχνολογία είναι τα "έξυπνα υλικά" -- ουσίες με παράξενες ιδιότητες, όπως η δυνατότητα να λυγίσουν με μια εντολή, "να αισθανθεί" την πίεση, και να μετασχηματισθεί από υγρό σε στερεό όταν τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο.

"Αυτή είναι τεχνολογία που οι περισσότεροι άνθρωποι δεν γνωρίζουν ακόμη πως υπάρχει," είπε η Anna McGowan, διευθύντρια προγράμματος για το έργο Morphing στο LaRC, το οποίο αναπτύσσει αυτές τις νέες τεχνολογίες.

Ο στόχος του προγράμματος Morphing είναι να προβλεφθεί πως θα μοιάζει το αεροδιαστημικό design με τέμνοντα άκρα σε 20 έτη από τώρα και θα αρχίσει την ανάπτυξη των τεχνολογιών για να το κάνει πραγματικότητα.

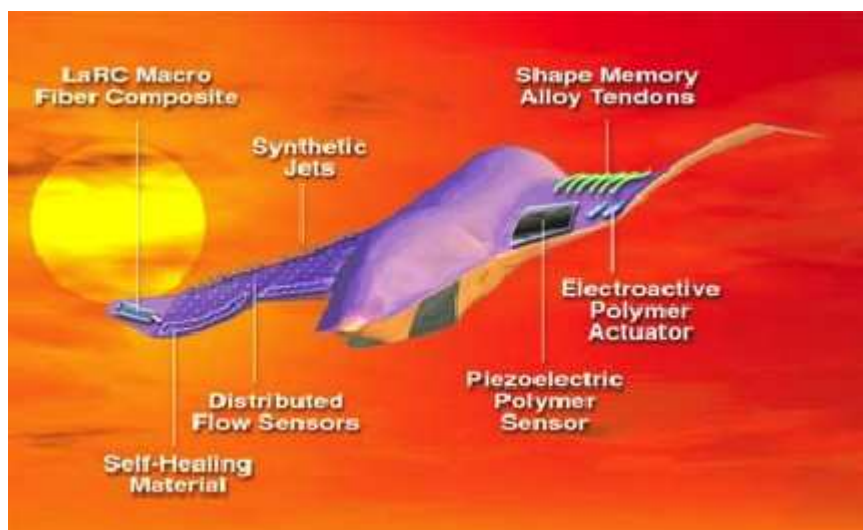
Παραδείγματος χάριν, ένα προσωπικό αέρα-αυτοκίνητο πρέπει να είναι συμπαγές, όμως ικανό να πετάξει και με πολύ χαμηλές και με πολύ υψηλές ταχύτητες.

"Ξέρουμε ότι για να πάρετε ένα όχημα μάρκας "Jetsons", πρόκειται πιθανώς να χρειαστείτε ένα φτερό που μπορεί να υποβληθεί σε μια ριζική διαμόρφωση," είπε η McGowan. "Το είδος φτερού που εσείς χρειάζεστε σε πολύ χαμηλές ταχύτητες και το είδος του φτερού που χρειάζεστε για τις υψηλές ταχύτητες είναι απολύτως διαφορετικά"

Μερικά αεροπλάνα μπορούν σήμερα ήδη να επανακατευθύνουν τα φτερά τους, όπως τα F- 14 Tomcat του ναυτικού και το B-1 υπερηχητικό βομβαρδιστικό αεροπλάνο. Αυτά όμως τα αεροπλάνα χρησιμοποιούν άκαμπτα φτερά που τοποθετούνται στους μεγάλους, βαριούς άξονες, στο σώμα του αεροπλάνου.

Αντίθετα, οι επιστήμονες του προγράμματος Morphing προβλέπουν ένα φτερό που θα ξεδιπλώνει με κάποια εντολή χρησιμοποιώντας κράματα μετάλλων "μνήμης-σχημάτων" ή άλλα νέα "έξυπνα" υλικά. Το υλικό του ίδιου του φτερού θα λύγιζε για να δημιουργήσει τη νέα μορφή.

Τα κράματα με μνήμη της μορφής έχουν την ασυνήθιστη ιδιότητα της αλλαγής πίσω στη αρχική μορφή τους με μεγάλη δύναμη όταν εφαρμόζεται ένα ορισμένο ποσό θερμότητας. Οποιαδήποτε μορφή μπορεί "να εκπαιδευθεί" στο κράμα ως αρχική μορφή της.



Ανωτέρω: Η σύλληψη ενός καλλιτέχνη που επεξηγεί μερικά από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που μπορούν να καθορίσουν τα αεροσκάφη λυγισμένων-ακρών σε 20 έτη από τώρα. Εκτός από τα αυτολυγίζόμενα φτερά, αυτή η απόδοση παρουσιάζει πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες που παρέχουν σε πραγματικό χρόνο στοιχεία πίεσης,

επιτρέποντας στο αεροπλάνο "να αισθανθεί" την κίνηση των φτερών του όπως τα πουλιά. Τα συνθετικά αεριοθούμενα αεροπλάνα επιτρέπουν στο αεροπλάνο να αλλάξει καταλεπτώς τη ροή του αέρα πάνω από τα φτερά, που παρέχουν λεπτό αεροδυναμικό έλεγχο όπως κάνουν τα φτερά

Μεταξύ των εξωτικών "έξυπνων" υλικών που αναπτύσσονται από το πρόγραμμα Morphing, τα κράματα με μνήμη της μορφής είναι σχετικά συνηθισμένα.

Φανταστείτε μια σφαίρα που ρίχθηκε μέσω ενός φύλλου του υλικού, μόνο που να έχει το υλικό την ιδιότητα "να θεραπευτεί" αμέσως, και να γίνει όπως πριν από τη ρίψη της σφαίρας! Θυμηθείτε, αυτό δεν είναι επιστημονική φαντασία. Τα αυτοθεραπευόμενα υλικά υπάρχουν πραγματικά, και οι επιστήμονες του LaRC εργάζονται για να διευκρινίσουν τα μυστικά τους.

"Ότι κάναμε στη NASA- Langley ήταν βασικά να τεμαχίσουμε εκείνο το υλικό για να απαντήσει στην ερώτηση, "πώς το κάνει αυτό;" είπε η McGowan. "Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε πραγματικά να φτάσουμε κάτω στην υπολογιστική διαμόρφωση αυτών των υλικών σε μοριακό επίπεδο."

"Μόλις καταλάβουμε τη συμπεριφορά του υλικού σε εκείνο το επίπεδο, κατόπιν μπορούμε να δημιουργήσουμε 'έξυπνα' υλικά σχεδιάζοντας τα", πρόσθεσε.

Το LaRC αναπτύσσει επίσης τις προσαρμοσμένες παραλλαγές των πιεζοηλεκτρικών υλικών. Αυτές οι ουσίες συνδέουν την ηλεκτρική τάση με την κίνηση. Εάν εσείς συστρέψετε ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό παράγεται μια τάση. Αντιθέτως, εάν εφαρμόζετε μια τάση, το υλικό συστρέφεται.

Οι επιστήμονες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τέτοιες ιδιότητες να σχεδιάσουν τα πιεζοηλεκτρικά υλικά που λειτουργούν ως αισθητήρες πίεσης ή ως "ενεργοποιητές" -- συσκευές που δημιουργούν τις μικρές κινήσεις στις μηχανές, όπως την κίνηση των χτυπημάτων των φτερών.



Αριστερά : Αυτή η λεπτή, εύκαμπτη ταινία περιέχει ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό που αποκρίνεται στην κάμψη, με την παραγωγή μιας τάσης που ανίχνευσε από τα ηλεκτρόδια που φαίνονται στο κατώτατο σημείο αριστερά της εικόνας.

Συνδυασμένα με τη μικροηλεκτρονική, αυτά τα υλικά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μια ριζική πρόοδο στα σχέδια αεροπλάνων.

"Όταν βλέπουμε 20 χρόνια μετά, στο μέλλον, βλέπουμε τα αεροπλάνα πως έχουν κατορθώσει να κάνουν αυτοαξιολόγηση και επισκευή σε real-time," είπε ο McGowan.

"Για να καταστήσετε όμως αυτήν την τεχνολογία πιθανή, θα πρέπει να κατανέμετε αυτούς τους ενεργοποιητές και αισθητήρες σ' όλο τα φτερά. Αυτό λειτουργεί παρόμοια με το πώς το ανθρώπινο σώμα λειτουργεί. Έχουμε τους μυς και τα νεύρα σε όλο το σώμα μας -- έτσι γνωρίζουμε το τι συμβαίνει στο σώμα μας και εμείς μπορεί να αποκριθούμε σε αυτό με διάφορους τρόπους."

Η ομοιότητα με τη βιολογία δεν τελειώνει εκεί. Μια λεωφόρος του ερευνητικού project Morphing πρόκειται να εξετάσει πώς η φύση κάνει τα πράγματα να δουλεύουν καλά. Οι επιστήμονες ελπίζουν ότι μπορούν να πάρουν μαθήματα από αυτήν την κηδεμονία για να βελτιώσουν έτσι τα σχέδιά τους.

"Τα πουλιά είναι τόσο πολύ πιο ευκίνητα από τα αεροπλάνα που έχουμε σήμερα. Τα πουλιά μπορούν να αιωρηθούν, μπορούν να πετάξουν προς τα πίσω και λοξά. Και τα έντομα αναποδογυρίζονται, κάνουν looping, όλα τα είδη των πραγμάτων." Anna McGowan, διευθύντρια προγράμματος στο ερευνητικό κέντρο Langley της NASA.

Η αποκαλούμενη "βιομιμητική", αυτή η πρακτική της εκμάθησης από τη φύση έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη -- μεταξύ άλλων -- ενός αντιγράφου του κόκκαλου.

Το κόκκαλο είναι πολύ ελαφρύ λόγω του πορώδους εσωτερικού του, αλλά είναι επίσης πολύ ισχυρό. Οι επιστήμονες του LaRC μπορούν να φτιάξουν δομές παρόμοιες με το κόκκαλο με την έγχυση πολυμερών μικροσφαιρών στα σύνθετα κελύφη της επιθυμητής μορφής, θερμαίνοντας ύστερα τις σφαίρες για να τα κάνουν να λιώσουν μαζί, σαν μικροσκοπικές φυσαλίδες σαπουνιών.

Δεξιά: LaRC οι επιστήμονες μελετούν τη φύση να καταλάβουν πώς τα πουλιά και τα έντομα επιτυγχάνουν το υψηλό βαθμό τους αποδοτικότητας και ικανότητας διάπραξης ελιγμών.



"Εάν μπορείτε να έχετε τη δύναμη και την ελαφρότητα αυτών των δομών όμοιων με τα κόκκαλα, για τις οποίες μιλώ, κατόπιν να προσθέσετε τους αισθητήρες όμοιους με τα νεύρα καθώς και αυτούς τους εύκαμπτους ενεργοποιητές, τότε πρόκειται να φτιάξετε, μια εξαιρετικά ελαφριά, πολύ ισχυρή, αυτο-αισθανόμενη, αυτο-δραστηριούμενη δομή. "

Συγκρίνετε εκείνο το όραμα με τα άκαμπτα, ναρκωμένα, βαριά αεροπλάνα του σήμερα, και θα πάρετε μια αίσθηση της δραματικής διαφοράς μεταξύ των "έξυπνων" υλικών που θα μπορούσαν να κάνουν στο αεροδιαστημικό design.

Όπως με όλη την βασική επιστήμη, οι εφαρμογές αυτών των "έξυπνων" υλικών θα επεκταθούν και στις τεχνολογίες έξω από την αεροδιαστημική βιομηχανία.

"Συνεργαζόμαστε πολύ στενά με δύο διαφορετικές ομάδες εμπορευματοποίησης, που χρηματοδοτούνται από τη NASA," είπε η McGowan, "και η προοπτική για αυτήν την τεχνολογία ανέρχεται σε παραγγελίες εκατομμυρίων εφαρμογών"

Εκτός όμως από το κολοσσιαίο ζήτημα της ασφάλειας, τα έξυπνα υλικά θα έχουν και άλλες περισσότερο ήπιες εφαρμογές. Ένα παράδειγμα είναι ότι τα υλικά αυτά κατά την διάρκεια της πτήσης θα δονούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνουν το θόρυβο που εισέρχεται στο χώρο των επιβατών. Σε μια ασφαλώς πιο προχωρημένη κατάσταση τα έξυπνα υλικά, σε συνεργασία και με άλλα συστήματα του αεροπλάνου, θα αλλάζουν σχετικά τη μορφή της πτέρυγας ακόμη και εν πτήσει ανάλογα με τις

ανάγκες, την κλίση του ενώ στρέφεται, την αλλαγή ύψους πτήσης. Προβλέπεται μάλιστα στο μέλλον, αφού έτσι θα αλλάζει η αεροδυναμική συμπεριφορά, όταν εξελιχθούν σε μεγάλο βαθμό τα συστήματα αυτά να αντικαταστήσουν ακόμη και τα συστήματα κατεύθυνσης, όπως το πηδάλιο, τα πτερύγια ανόδου και καθόδου. Οι Αμερικανοί πάντως έφτιαξαν ένα τέτοιο σύστημα σε πειραματικό αεροπλάνο που για πρώτη φορά πέταξε το περασμένο έτος.

4.1.2 Αυτοκινητοβιομηχανία

Είναι διδακτικό να εξεταστεί η επιτυχημένη χρήση των μικρο-ηλεκτρο-μηχανικών συστημάτων (MEMS – micro-electrical-mechanical systems) σαν αισθητήρες στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Για παράδειγμα, οι συσκευές MEMS χρησιμοποιούνται, για την ανάπτυξη των αερόσακων και του συστήματος που ξεκλειδώνει τα φρένα του αυτοκινήτου (ABS). Υπάρχουν σημάδια ότι αυτή η αγορά έχει αρχίσει να μεγαλώνει.

Μερικά «αληθινά» έξυπνα υλικά – ηλεκτροχρωμικά υλικά – χρησιμοποιούνται στον αυτόματο φωτισμό και τον έλεγχο της θερμότητας στην αυτοκινητοβιομηχανία (π.χ. οι καθρέφτες που θαμπώνουν και τα πίσω παράθυρα). Μια λιγότερο ώριμη εφαρμογή είναι η χρήση ενεργοποιητών σαν υποκατάστατα μικρών κινητήρων, όπου τα πλεονεκτήματα είναι το μειωμένο βάρος και οι λιγότερες βλάβες λόγω της μειωμένης πολυπλοκότητας. Επίσης η χρήση των έξυπνων υλικών για τη μείωση του θορύβου και της δόνησης είναι λιγότερο ώριμη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την βελτιωμένη άνεση και τα οφέλη ως προς την ασφάλεια, ειδικά για τους επαγγελματίες οδηγούς.

Επί του παρόντος γίνεται μια προσπάθεια στην αυτοκινητοβιομηχανία προς το φρενάρισμα και την οδήγηση «με σύρμα». Έχει υιοθετηθεί μια υβριδική και εξελικτική προσέγγιση, με τους ηλεκτρικούς κινητήρες να αντικαθιστούν τα μηχανικά μέσα των κινούμενων υδραυλικών. Ο απώτερος σκοπός είναι η πλήρης αντικατάσταση των υδραυλικών με συστήματα που είναι όλα ηλεκτρικά. Η χρήση των έξυπνων υλικών μπορεί να βοηθήσει σ' αυτόν τον σκοπό, όπου για παράδειγμα, θα απαιτηθεί έλεγχος της κατάστασης στο τακάκι του δισκόφρενου προκειμένου να

καθοριστεί η αποτελεσματικότητα των φρένων. Αυτό θα χρειαστεί μέτρηση της θερμοκρασίας, του πάχους του τακακίου και της δύναμης των φρένων.

Έχουν αναπτυχθεί συστήματα ενεργής διαθεσιμότητας για την βελτίωση του ελέγχου του αυτοκινήτου και την άνεση του οδηγού. Η δυσκαμψία και η απόσβεση μπορούν να ελεγχθούν χρησιμοποιώντας συστήματα που περιλαμβάνουν ηλεκτρο-μαγνητο-ρεολογικά υγρά, όμως έχουν προβλήματα με τη διάρκεια ζωής, με τη συναρμολόγηση των σωματιδίων, την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας και το κόστος. Οι περαιτέρω εξελίξεις σ' αυτά τα υλικά, και ίσως τα συστήματα που περιλαμβάνουν πιεζοηλεκτρικά υλικά θα μπορούσαν να ωφελήσουν τον κλάδο.

Μια περαιτέρω εφαρμογή των έξυπνων υλικών στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι η χρήση των πολυμερών που έχουν μνήμη σχήματος σ' αυτό που αποκαλείται «ατζαμής οδηγός», όταν οι παραμορφώσεις λόγω των μικρών συγκρούσεων μπορούν να εξαλειφθούν με την αντιμετώπιση του μαρσαρίσματος. (Η επίδραση της μνήμης σχήματος επιτρέπει στο αρχικό σχήμα της δομής να επανέλθει). Το κόστος βεβαίως και πάλι θα επηρεάσει την πιθανή ευρεία χρήση αυτής της τεχνολογίας.

(70) Οι επιστήμονες της General Motors στο Κέντρο Έρευνας & Εξέλιξης της GM στο Warren, Michigan, έχουν προχωρήσει σε τεχνολογικές εξελίξεις με 'έξυπνα' υλικά, που θα είναι έτοιμα για μαζική παραγωγή σε οχήματα από το 2010 και μετά.

«Τα έξυπνα υλικά θα αλλάζουν την εμφάνιση και αίσθηση των αυτοκινήτων και επαγγελματικών οχημάτων μας» δήλωσε ο Larry Burns, Αντιπρόεδρος Έρευνας & Εξέλιξης και Στρατηγικού Σχεδιασμού της GM.

Με αυτά τα νέα υλικά, η λειτουργικότητα μπορεί να προγραμματιστεί 'εσωτερικά', επιτρέποντας σχεδιαστικές καινοτομίες, βελτιωμένη απόδοση και νέα, αναβαθμισμένα χαρακτηριστικά που θα κάνουν τα αυτοκίνητά μας πιο συναρπαστικά σε εμφάνιση και λειτουργία σε σχέση με του παρελθόντος.

Αυτοί οι ενεργοποιητές και οι αισθητήρες μπορούν να παρέχουν σημαντικά οφέλη

όταν χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση συμβατικών ηλεκτρικών και υδραυλικών συσκευών, μειώνοντας τη μάζα του οχήματος, το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του εξαρτήματος, και βελτιώνοντας την ευελιξία σχεδίασης, τη λειτουργικότητα και την αξιοπιστία.

Παραδείγματα

Κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν ενεργές επιφάνειες οχημάτων, όπως σπόιλερ και εισαγωγές αέρα που προσαρμόζονται για τη διαχείριση της ροής αέρα, τη βελτιωμένη αεροδυναμική και τις επιδόσεις καθώς και μηχανισμούς ανοίγματος καπό, θυρών και ντουλαπιών για πιο άνετη πρόσβαση.

Σύμφωνα με τον Alan Taub, εκτελεστικό διευθυντή Έρευνας & Εξέλιξης της GM, τα έξυπνα υλικά βασίζονται σε καινοτομίες προηγούμενων υλικών που η GM έχει λανσάρει τα τελευταία χρόνια. *«Αυτά τα νέα έξυπνα υλικά αποτελούν τμήμα μίας μεγάλης λίστας ειδικών υλικών που ήδη χρησιμοποιούμε»* δήλωσε ο Alan Taub.

«Κάποια παραδείγματα περιλαμβάνουν πρωτότυπες μεθόδους διαμόρφωσης αλουμινίου που επιτυγχάνουν βελτιωμένα πάνελ αμαξώματος και ελαφριά, πολυμερή νανο-συνθετικά που προσφέρουν ανώτερες μηχανικές ιδιότητες με χαμηλότερο κόστος, και μαγνητορολογικά υγρά (MRF) για βελτιωμένα συστήματα πλαισίου (π.χ. αμορτισέρ)».

Τα εγγενή χαρακτηριστικά των κραμάτων SMA και των πολυμερών θα μπορούν να φέρουν επανάσταση στον τομέα των προηγμένων υλικών αυτοκινήτων, και τελικά να οδηγήσουν σε υποσυστήματα οχημάτων που θα αυτο-επισκευάζονται σε περίπτωση ζημιάς ή θα σχεδιάζονται με δυνατότητα να αλλάζουν χρώμα ή εμφάνιση.

Οι εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία τείνουν να απαιτούν υψηλό όγκο και υψηλή απόδοση, την ικανότητα να λειτουργούν σε ένα εχθρικό περιβάλλον και χαμηλό κόστος. Τα έξυπνα υλικά είναι πιθανό να επιτύχουν σ' αυτόν τον κλάδο αν μπορούν να αποδώσουν περισσότερες από μια λειτουργίες ή αν μπορούν να ενταχθούν με τέτοιο τρόπο που μειώνει τα κόστη συναρμολόγησης και παραγωγής.

4.1.3 Ναυσιπλοΐα

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός προγραμμάτων που περιλαμβάνει την εφαρμογή των έξυπνων υλικών στον κλάδο του ναυτικού. Τα περισσότερα από αυτά έχουν σχέση με την άμυνα και είναι μετρίου μεγέθους. Περιλαμβάνουν την μέτρηση της τάνυσης σε ένα σύνθετο πηδάλιο, χρησιμοποιώντας ενσωματωμένες Bragg οπτικές ίνες σε μορφή πλέγματος (FOBG), μέτρηση της τάνυσης σε μεγάλη ίνα άνθρακα σύνθετου καταρτιού ενός γιωτ (χρησιμοποιώντας έναν παρόμοιο τύπο αισθητήρα), και τη μείωση της δόνησης σε πλοίο και αποβάθρες υποβρύχιου εξοπλισμού. Τα έξυπνα υλικά όμως δεν χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως σ' αυτόν τον κλάδο. Μια πιθανή μελλοντική εφαρμογή είναι η αυτό-επιδιόρθωση των κατεστραμμένων κατασκευών κυρίων υποβρυχίως.

4.1.4 Σιδηρόδρομος

Ένας αριθμός εφαρμογών ελέγχου της κατάστασης έχουν αναπτυχθεί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σιδηροδρομικό υλικό (π.χ. έλεγχος στα τακάκια των φρένων, έλεγχος της κεραίας ρευματοληψίας της ηλεκτράμαξας, καθορισμός της ποιότητας της διαδρομής, μέτρηση της κατατομής της ρόδας, έλεγχος της μηχανής πάνω στη γραμμή). Ο έλεγχος της κατασκευής είναι ένα άλλο πεδίο, π.χ. ο εντοπισμός των συγκρούσεων σε γέφυρες με αυτοκίνητα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας υπέρυθρες ακτίνες και τα όργανα που μετρούν την επιτάχυνση.

Αυτές οι εφαρμογές επί του παρόντος τείνουν να χρησιμοποιούνται σε συμβατικούς αισθητήρες, παρόλο που μπορεί να υπάρχει προοπτική για βελτίωση αυτών των τεχνικών με τη χρήση των έξυπνων υλικών. Ο έλεγχος της κατάστασης της τροχιάς (και της ράγας) είναι ένα προφανές παράδειγμα όπου τα έξυπνα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επίσης έχει διεξαχθεί έρευνα για την ενεργή απόσβεση της κεραίας ρευματοληψίας της ηλεκτράμαξας και την αντικάστασή της με πιεζοηλεκτρικά υλικά.

4.1.5 Εμπόδια ως προς την εκμετάλλευση

Μια χρήσιμη σύγκριση, ξανά, είναι η χρήση των MEMS στην αυτοκινητοβιομηχανία. Εδώ, η διαθεσιμότητα των φτηνών συσκευών που είναι σε μεγάλο βαθμό επεξεργασμένες (όμως όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό όσο η βιομηχανία των ημι-αγωγών) έχουν δημιουργήσει μια πετυχημένη βιομηχανία με πολλές αναγνωρίσιμες εφαρμογές. Αν η εκμετάλλευση αυτών των έξυπνων προϊόντων πρόκειται να ακολουθήσει αυτήν την επιτυχία, θα πρέπει να ξεπεραστεί ένας αριθμός εμποδίων:

- Καλύτερες ιδιότητες των υλικών
- Συμβατότητα του συστήματος (διαθέσιμα υλικά σε κατάλληλη μορφή για εφαρμογή).
- Διαθεσιμότητα και κόστος
- Καλύτερη γνώση και δεκτικότητα για τα έξυπνα υλικά στους παραδοσιακούς μηχανολογικούς κλάδους.
- Θα πρέπει να επιτευχθεί εκμετάλλευση από άλλους κλάδους.

4.2 Κατασκευές

Το 2001 η αναφορά του Foresight «Κατασκευάζοντας το μέλλον», έχει σαν πρώτη στη σειρά των μεγάλων συστάσεων, την προώθηση των «έξυπνων» κτισμάτων και κατασκευών. Αυτό περιλαμβάνει την επιτάχυνση της εισαγωγής νέων τεχνολογιών, προηγμένων υλικών και «έξυπνων» προϊόντων σαν μέσο για τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών ευκαιριών, βελτίωσης του περιβάλλοντος που ζούμε/εργασιακού περιβάλλοντος, και δυνατότητας πληροφόρησης για τη βελτίωση της ποιότητας της κατασκευής. Η αναφορά, συγκεκριμένα, αναγνωρίζει σαν παραδείγματα τη χρήση των ενσωματωμένων αισθητήρων για τον ελάχιστο έλεγχο της απόδοσης του κτισίου, τη χρήση των έξυπνων τεχνολογιών για ιδιαίτερα γνωρίσματα, συλλογή στοιχείων και διαχείριση, και διακοσμητική μπογιά που αλλάζει χρώμα ηλεκτρονικά και προειδοποιεί για τα σημεία έντασης.

Κάτω από την «δυνατότητα βιωσιμότητας», η αναφορά αναγνωρίζει περαιτέρω τη χρήση των ενσωματωμένων τσιπς για την επικοινωνία των ομάδων επιδιόρθωσης ή συντήρησης πριν από την κατάρρευση και τη χρήση του έξυπνου τσιμέντου που αισθάνεται τη δόνηση στις γέφυρες και κατασκευές όταν συμβαίνει. Όλες οι προαναφερόμενες χρήσεις εμπίπτουν στον ορισμό των έξυπνων υλικών. Γίνονται επίσης συνδέσεις με τη βιομηχανική και την νανοτεχνολογία. Η αναφορά καταλήγει στο ότι υπάρχει ανάγκη για συντονισμένη προσπάθεια προκειμένου η επίδραση της γοργής τεχνολογίας να μεταφερθεί από την έρευνα στην πρακτική εφαρμογή.

Στον κλάδο των κατασκευών, οι εφαρμογές της έξυπνης τεχνολογίας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: εποπτεία της ποιότητας της κατασκευής (συμπεριλαμβανομένου του εντοπισμού ζημιών), έλεγχος της δόνησης και έλεγχος του περιβάλλοντος του χρήστη (οπτικό, θερμικό, ηλεκτρο-μαγνητικό, ακουστικό κ.λ.π.). Υπάρχει επίσης διαχωρισμός μεταξύ των εφαρμογών που σχετίζονται πρωταρχικά με κατασκευές που φέρουν μεγάλο φορτίο και εκείνες που έχουν σχέση με τον εσωτερικό και εξωτερικό σχεδιασμό του κτίσματος και της λειτουργίας.

4.2.1 Εποπτεία ποιότητας κατασκευών

Η εποπτεία της κατασκευαστικής υγείας είναι η πιο ώριμη προσέγγιση των έξυπνων υλικών και των συστημάτων τεχνολογίας σ' αυτόν τον κλάδο. Ο κλάδος των κατασκευών είναι στα πρόθυρα της πρακτικής πραγματοποίησης αυτών των τεχνολογιών, εστιάζοντας στην εποπτεία των φορτίων και των εντοπισμό των ζημιών στις αρχικές και τις επισκευασμένες κατασκευές.

Οι σύνοδοι του SPEI Έξυπνες Κατασκευές και Υλικά του 2002 και το NDE για την Εποπτεία Υγείας και Διαγνωστικών του 2002 ανέδειξαν ένα αριθμό έξυπνων συστημάτων μέσα στον κλάδο των κατασκευών. Αυτά διακατέχονται από εφαρμογές εποπτείας της ποιότητας χρησιμοποιώντας συστήματα που βασίζονται σε οπτική ίνα στη Γερμανία, Ιταλία, Γαλλία και Βόρεια Αμερική μαζί με ένα στην Κορέα που χρησιμοποιεί ακουστική μετάδοση. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, τα συστήματα οπτικών ινών μπήκαν σε εφαρμογή το 2001 (σαν μέρος του DETR's "Συνέταιροι στο σχέδιο της καινοτομίας» για τον έλεγχο της ποιότητας των πολυμερών σύνθετων

επενδύσεων που χρησιμοποιούνται για να δυναμώσουν τις κατασκευές για την ανύψωση της καμάρας του Μετρό στο Λονδίνο.

Μια πολλή μεγάλη Ευρωπαϊκή Συνεργασία για ένα έργο τριετούς διάρκειας έλαβε χώρα στο Ηνωμένο Βασίλειο υπό την αιγίδα του Συνεταιρισμού INTERSet Faraday, και εξέτασε την ακεραιότητα της εποπτείας σε δύσκολο περιβάλλον. Περιέλαβε την ένταξη ενός συστήματος αισθητήρα που βασίζεται σε οπτική ίνα σε μια γέφυρα κατασκευασμένη με σύνθετα πολυμερή στο West Mill του Oxfordshire.

Το μεγαλύτερο επίπεδο δραστηριότητας που έχει αναφερθεί είναι στην Βόρεια Αμερική όπου, ξανά, η εποπτεία των γεφυρών αποτελεί το κεντρικό θέμα. Τα σχέδια στις Η.Π.Α. περιλαμβάνουν τη χρήση συστημάτων πλέγματος με οπτικές ίνες για τον έλεγχο της κίνησης και την εποπτεία των σύνθετων επισκευών. Η πιο συντονισμένη δραστηριότητα είναι μάλλον αυτή στον Καναδά υπό την αιγίδα της συνεργασίας της ερευνητικής ομάδας για τον Έξυπνο εντοπισμό στις Νεωτεριστικές Κατασκευές (ISIS). Το ISIS έχοντας περιγραφεί σαν «το δίκτυο των κέντρων με διάκριση» συνδέει 72 ερευνητές στον Καναδά με ομάδες δημοσίων και ιδιωτικών συμφερόντων που έχουν ενδιαφέρον για νεωτεριστικές λύσεις στην κατασκευή και επισκευή των γεφυρών, των φραγμάτων και των κτισμάτων. Το ISIS επίσης διαμορφώνει το επίκεντρο δραστηριότητας για την εποπτεία των έξυπνων γεφυρών και των δομών. Όπως και άλλους κλάδους, η εστίαση της τεχνολογίας είναι κυρίων στις πολυμερείς σύνθετες δομές και τους οπτικούς αισθητήρες. Άλλες δραστηριότητες που έχουν αναφερθεί πρόσφατα περιλαμβάνουν τη χρήση των ενσωματωμένων και τοποθετημένων στην επιφάνεια αισθητήρων MEMS για την εποπτεία του τσιμέντου και των μεταλλικών κατασκευών.

4.2.2 Έλεγχος Δονήσεων

Ο έλεγχος δονήσεων είναι η μέγιστη πρακτική εκδήλωση των ενεργών συστημάτων ελέγχου στην κατασκευή, πρωταρχικά για την μετρίαση των δονήσεων που προκαλούνται από τον αέρα και το σεισμό. Το ενδιαφέρον για τη δόνηση που προκαλείται από τον αέρα μεγαλώνει σε παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει εκδηλωθεί από τους σχεδιαστές γέφυρας και άλλων κατασκευών για τη χρήση

λεπτοκαμωμένων καλωδιακών κατασκευών, που είναι διάσημες για την αισθητική τους. Ένα πρόσφατο έργο του Ευρωπαϊκού Πλαισίου 5, για παράδειγμα, έχει εξετάσει τον ενεργό έλεγχο των καλωδιακών κατασκευών χρησιμοποιώντας και συμβατικούς υδραυλικούς ενεργοποιητές και νεωτεριστικούς μαγνητοσυστολικούς. Μια άλλη μαγνητική λύση, που βασίζεται στα μαγνητορευολογικά υγρά έχει επίσης εφαρμοστεί για την μείωση της έντασης της καλωδιακής γέφυρας στην Κίνα και στη μείωση των επιδράσεων του σεισμού στην Ιαπωνία.

Το πρόσφατο πρόβλημα της κατασκευαστικής ανισοροπίας στη γέφυρα Millenium (“Wobbly”) κατά μήκος του ποταμού Τάμεση επιλύθηκε με τον επαναεξοπλισμό ενός παθητικού συστήματος μείωσης της έντασης. Οι μηχανικοί σχεδίου εξέτασαν ένα ενεργό έξυπνο σύστημα όμως, παρόλο που αυτό θα παρείχε ένα αποτελεσματικό και συντονισμένο σύστημα, απέρριψαν την ιδέα κυρίως λόγω του κόστους.



Γέφυρα Jubilee στο Λονδίνο

Η δυνατότητα χρήσης ενός έξυπνου υλικού περισσότερο για την άμεση κατασκευαστική ενίσχυση παρά για τον έλεγχο της δόνησης έχει ήδη περιγραφεί. Αυτό συνιστά τη χρήση κραμάτων με μνήμη σχήματος για υπεράκτιες κατασκευαστικές εφαρμογές μεγάλου βαθμού, συμπεριλαμβανομένης της ενίσχυσης, της σύσφιξης και της ανύψωσης.

Μια θεωρία που εξετάζει τη μετρίαση των επιδράσεων της κατασκευαστικής ζημιάς (π.χ. από έναν σεισμό) χωρίς την ανάγκη για ένα σύστημα εποπτείας, είναι η κατασκευή που γίνεται από το ίδιο το κατασκεύασμα.

4.2.3 Περιβαλλοντολογικός έλεγχος

Ο περιβαλλοντολογικός έλεγχος είναι ένας κλάδος λιγότερο αναπτυγμένος για την εφαρμογή των έξυπνων τεχνολογιών. Οι εφαρμογές έχουν να κάνουν πρωταρχικά με τον εσωτερικό και εξωτερικό σχεδιασμό του κτίσματος, με έμφαση στον περιβαλλοντολογικό έλεγχο και τα συστήματα της πληροφόρησης. Υπάρχουν επίσης δυνατοί δεσμοί στην έννοια του «έξυπνου κτίσματος ή του σπιτιού» και της φροντίδας της υγείας, συμπεριλαμβανομένης της φροντίδας για του πιο ηλικιωμένους, την πρόληψη του εγκλήματος και την αποτελεσματικότητα της ενέργειας. Έν τέλει, τα έξυπνα υλικά και η σχετιζόμενη τεχνολογία που μπορούσε να ενσωματωθεί στους χώρους που ανταποκρίνονται στον χρήστη μέσω της φωνής, της κίνησης ή των προσωπικών επικετών. Η κατανόηση της τεχνολογίας των έξυπνων υλικών θα είναι αμοιβαία εξαρτώμενη από το βαθμό στον οποίο εγκαθίσταται η τρέχουσα ώθηση προς την ενιαία τεχνολογία πληροφόρησης σ' αυτόν τον κλάδο.

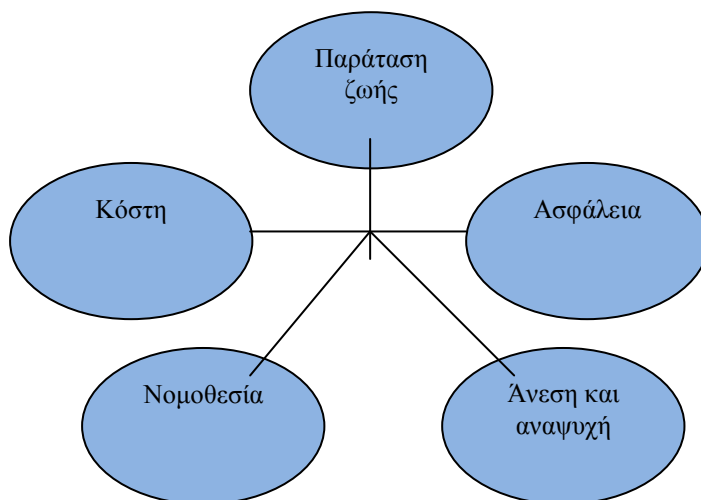
Οι συγκεκριμένες εφαρμογές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σαν «θετικά ωφέλιμες», «χρήσιμες» ή απλά «καλές να υπάρχουν». Για παράδειγμα, η χρήση της έξυπνης τεχνολογίας για την παροχή ελέγχου στον ενεργό θόρυβο θα ήταν ωφέλιμη στο περιβάλλον του σπιτιού, του γραφείου και των κοινόχρηστων χώρων. Το ίδιο πράγμα αληθεύει και στον θερμικό έλεγχο, συμπεριλαμβανομένων των κλιματιστικών (θέρμανσης και ψύξης) και στον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας. Στον θερμικό έλεγχο, οι δυνητικές εφαρμογές των έξυπνων υλικών περιλαμβάνουν τις βαλβίδες, τους διακόπτες και άλλους μηχανικούς ενεργοποιητές που βασίζονται για παράδειγμα, τα ηλεκτροενεργοποιητικά υλικά ή στα κράματα με μνήμη σχήματος. Επιπλέον εξελίξεις με τη χρήση έξυπνων υλικών όπως τα φωτο ή θερμοχρωμικά θα μπορούσαν να προσφέρουν προστιθέμενη αξία. Αυτά τα υλικά επίσης προσφέρουν την ικανότητα για τον έλεγχο του φωτός και του χρώματος, που οδηγεί σε θετικά οφέλη και σε ό,τι αφορά την αποτελεσματικότητα της ενέργειας και σε πεδία που έχουν σχέση περισσότερο με τη μόδα και τον έλεγχο της διάθεσης.

4.2.4 Οδηγοί και εμπόδια

Η κορωνίδα των μεταδοτών είναι η ασφάλεια, και σε ό,τι αφορά την ενσωμάτωση των συστημάτων ελέγχου του κατασκευαστικού «καλώς έχειν» και στη χρήση των ενεργών συστημάτων ελέγχου για τη μετρίαση των ζημιών. Το κόστος μπορεί να εξεταστεί και σαν μέγιστος οδηγός και σαν εμπόδιο για την εισαγωγή της τεχνολογίας στον κλάδο, που, ιστορικά, έχει την κουλτούρα του χαμηλού κόστους αναφορικά με την προσφορά των υλικών για το κτίσιμο.

Κάθε έξυπνη τεχνολογία χρειάζεται να είναι προσιτή οικονομικά, είτε με το να είναι από μόνη της χαμηλού κόστους είτε με το να προσφέρει προστιθέμενη αξία μέσω της βελτιωμένης απόδοσης, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ασφάλειας ή της μειωμένης μέσω του κόστους ζωής. Το Καναδικό δίκτυο ISIS, για παράδειγμα, προβλέπει έναν συνδυασμό σχεδίου ζωής και μειωμένης συντήρησης για την έξυπνη γέφυρα. Ένα σημαντικό ζήτημα εδώ, όμως, είναι το ποιος θα πληρώσει γι' αυτά τα οφέλη, δεδομένου ότι η ιδιοκτησία μιας πολιτικής κατασκευής ή το κτίσμα μπορεί να αλλάζει κατά τη διάρκεια της ζωής του. Ένας περαιτέρω οδηγός, ο οποίος θα υποστηρίξει την εισαγωγή μιας πιο υψηλής τεχνολογίας λειτουργικότητα, είναι οι κατασκευαστικές τεχνικές με αυξημένα πρότυπα συναρτησιακής κατασκευής. Αυτές οι τεχνικές θα επέτρεπαν τα λειτουργικά στοιχεία να ενσωματωθούν σε μια βιομηχανία, περισσότερο από ένα περιβάλλον μη-ελέγξιμης κατασκευής.

Η μόδα και η άνεση του χρήστη είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες και πλαίσιο και των μεγάλων κατασκευών και των σπιτιών και γραφείων. Στις γέφυρες, για παράδειγμα, η τάση για πιο μακριά λεπτοκαμωμένα καλωδιακά σχέδια οδηγεί και στην ανάγκη για κατασκευαστική εποπτεία και στη χρήση συστημάτων ελέγχου για ενεργή και παθητική δόνηση. Στο σπίτι ή στο γραφείο, οι κατασκευές που διεγείρουν το ενδιαφέρον των ενοίκων (μέσω της μεταβολής χρώματος, για παράδειγμα) μπορούν να είναι ωφέλιμες. Εδώ, ειδικά, θα ήταν αναγκαία η συνεργασία με τους συμβούλους της αρχιτεκτονικής και της μηχανολογίας. Το να γνωρίζουν αυτοί καλύτερα τις τεχνικές δυνατότητες και των δυνητικών ωφελειών θα εξάλειφε ένα επιπλέον τρέχον εμπόδιο για την αντίληψη των έξυπνων τεχνολογιών.



Οι οδηγοί της τεχνολογίας στον κλάδο των κατασκευών.

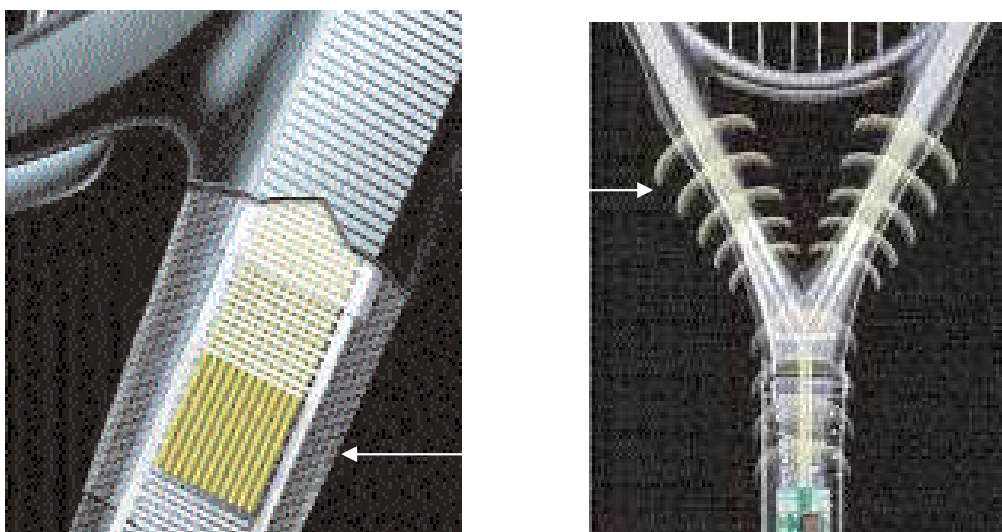
4.3 Σπορ και αναψυχή

Ο κλάδος των σπορ και της αναψυχής έχει ανέκαθεν αγκαλιάσει νέα δομικά υλικά όπως τα κράματα αλουμινίου, τα κράματα τιτανίου, τα προηγμένα πολυμερή, τις συνθέσεις γυαλιού και άνθρακα. Πολύ σπάνια θα αναπτυχθούν νέα δομικά υλικά για τη βιομηχανία των σπορ και συχνά προέρχονται από υλικά που εξελίχθηκαν για στρατιωτικές εφαρμογές ή εφαρμογές για τις μεταφορές. Ένα παρόμοιο πρότυπο αναδύεται στον τομέα των έξυπνων υλικών, όπου οι έξυπνες τεχνολογίες που έχουν εξελιχθεί σε άλλους κλάδους (στρατό, αεροδιάστημα, κ.λ.π.) ενσωματώνονται στον εξοπλισμό για τα σπορ και την αναψυχή.

Ο κλάδος των σπορ και της αναψυχής γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός στην κοινωνία μας. Ακμάζουν τα πτυχία και μεταπτυχιακά στην επιστήμη των σπορ και της άσκησης, που επικεντρώνεται στην ανθρώπινη απόδοση και τα πτυχία στη μηχανολογία των σπορ ή της τεχνολογίας, που επικεντρώνεται στο σχεδιασμό του εξοπλισμού αυξάνονται ομοίως. Πρόσφατα έχει δημιουργηθεί ο Σύνδεσμος της Διεθνούς Μηχανολογίας των Σπορ (ISEA) και ο αριθμός των διεθνών συνεδρίων και των εκδόσεων που δημοσιεύουν την έρευνα που βασίζεται στη μηχανολογία των σπορ αυξάνεται.

4.3.1 Η τρέχουσα κατάσταση

Ένα καλό παράδειγμα της χρήσης των έξυπνων υλικών στα σπορ είναι η ρακέτα του τέννις που κατασκευάστηκε από τον Head. Οι μοντέρνες ρακέτες έχουν σχεδιασθεί να είναι δύσκαμπτες προκειμένου να μεγεθύνεται η ενέργεια που επιστρέφει στο μπαλάκι, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα η ρακέτα να μεταδίδει μεγάλο σοκ και δόνηση στο χέρι του παίκτη.



Ρακέτα του τέννις που περιλαμβάνει πιεζοηλεκτρικές ίνες (στα σημεία που δείχνει το βέλος) συνδεδεμένες με ηλεκτροδία που μεταφέρουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε ένα μικροτσιπ (Cromer 2001) Ρακέτες δυναμικού τένις

Σε μια προσπάθεια να μειωθεί η δόνηση, οι πιεζοηλεκτρικές ίνες ενσωματώνονται γύρω από το λαιμό της ρακέτας. Ο σκελετός παρεκκλίνει ελάχιστα όταν χτυπάει η μπάλα, λυγίζοντας τις πιεζοηλεκτρικές ίνες και δημιουργώντας ένα φορτίο που συγκεντρώνεται μέσω του υποδειγμένου ηλεκτροδίου που περιβάλλει τις ίνες. Το φορτίο και το εναλλασσόμενο ρεύμα που σχετίζεται μ' αυτό μεταφέρεται σε ένα ενσωματωμένο μικροτσιπ που περιλαμβάνει επαγωγείς, πυκνωτές και αντιστάτες που επιστρέφουν το εναλλασσόμενο ρεύμα πίσω στις ίνες που είναι εκτός της φάσης προκειμένου να μειωθεί η δόνηση μέσω της καταστροφικής παρεμβολής. Οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι η μείωση της δόνησης είναι της τάξεως του 50% σε σύγκριση με τις συμβατικές ρακέτες, παρόλο που δεν υπάρχει κάποια δημοσιευμένη απόδειξη γι' αυτόν τον ισχυρισμό.

Παρόμοια τεχνολογία χρησιμοποιείται επίσης στα K2 σκι με τη βοήθεια του ACX (Ενεργός έλεγχος ειδικών). Αυτό είναι ένα παράδειγμα του πώς ένας κατασκευαστής σπορ (K2) συνεργάζεται με έναν ειδικό έξυπνων υλικών (ACX) για να αναπτύξουν ένα νέο προϊόν. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά έχουν ενσωματωθεί στα σκι για το χιόνι, στα ρόπαλα του μπεϊζμπολ, στις σανίδες για σκι και του θαλάσσιου σκι που παθητικά μειώνουν τη δόνηση με τη μετατροπή των δονήσεων σε ηλεκτρικό φορτίο, το οποίο εξανεμίζεται μέσω του αντιστάτη. Ένα αληθινά έξυπνο σύστημα έχει κατασκευαστεί για τη μείωση της δόνησης των σκελετών του ποδηλάτου που χρησιμοποιούν ένα τεράστιο μαγνητο-αντιστατικό αισθητήρα για τον εντοπισμό της δόνησης και των πιεζοηλεκτρικών ενεργοποιητών για τη βελτίωση της απόσβεσης.

Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν τη χρήση των κραμάτων που έχουν μνήμη σχήματος για τις όψεις στα μπαστούνια του γκολφ λόγω το υπερελαστικών και υψηλής απόσβεσης ιδιοτήτων, τη χρήση έξυπνων υφασμάτων όπως τα θερμοχρωμικά υφάσματα, αγωγίμων και φωτονικών τεχνολογιών και δομές υφασμάτων που προσαρμόζονται.

4.3.2 Οι οδηγοί της αγοράς

Οι κύριοι οδηγοί για την εισαγωγή των έξυπνων υλικών και της έξυπνης τεχνολογίας είναι να:

1. Να βελτιώσουν την απόδοση του υφιστάμενου εξοπλισμού των σπορ (για παράδειγμα μέσω της μειωμένης δόνησης), η προσθήκη αξίας στο προϊόν και η αύξηση της ανταγωνιστικότητας με άλλους κατασκευαστές.
2. Να αυξηθεί η λειτουργικότητα του υφιστάμενου προϊόντος, όπως η χρήση του αγωγιμού υφάσματος ή του υφάσματος που αλλάζει χρώμα.
3. Να αναπτυχθούν νέα προϊόντα, όπως ο ενόργανος εξοπλισμός ή οι συσκευές προπόνησης
4. Να χρησιμοποιηθούν τα έξυπνα υλικά σαν εργαλείο marketing για την αύξηση του καταναλωτικού ενδιαφέροντος.

4.3.3 Εμπόδια για την εκμετάλλευση

Πολλά από τα έξυπνα υλικά που αναλύθηκαν είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, όπως τα κράματα που έχουν μνήμη σχήματος, τα πιεζοηλεκτρικά υλικά, οι πιεζοηλεκτρικές ίνες, τα μαγνητο και ηλεκτρο-ρεολογικά υγρά, οι ίνες που αλλάζουν χρώμα ή οι αγωγιμες ίνες. Εκτός των υλικών, οι τεχνολογίες όπως η ενεργή και παθητική απόσβεση της δόνησης έχουν αναλυθεί σε μεγάλο βαθμό σε άλλους κλάδους όπως οι μεταφορές και το αεροδιάστημα.

Ενώ τα υλικά και οι τεχνολογίες είναι διαθέσιμες, το κύριο εμπόδιο είναι η έλλειψη επίγνωσης και κατανόησης των ιδιοτήτων και των εφαρμογών των έξυπνων υλικών από αυτούς που εργάζονται στη βιομηχανία των σπορ (τους χρήστες εξοπλισμού, τους σχεδιαστές του εξοπλισμού και τους επιστήμονες των σπορ. Υπάρχει επίσης έλλειψη δημοσιευμένης εργασίας για τα έξυπνα υλικά στην επιστήμη των σπορ και στο πεδίο της μηχανολογίας.

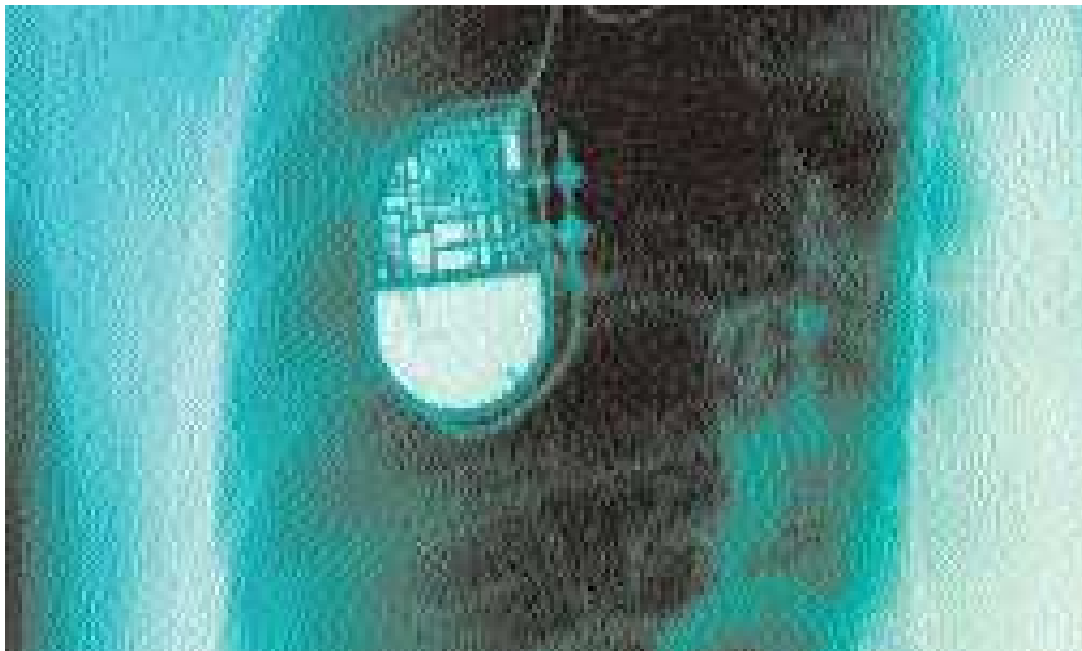
4.4 Κλάδος υγείας

Η επιστήμη των υλικών παρέχει μια στέρεα βασική πλατφόρμα επιστημών για την έρευνα και την εξέλιξη των νεωτεριστικών έξυπνων υλικών. Μια περαιτέρω εξάπλωση της τεχνολογίας στον κλάδο της υγείας, όμως, απαιτεί δυνατή πολύ-πειθαρχική στρατηγική. Η από εδώ και πέρα έρευνα τείνει να αντανακλά τις συμβατικές βιομηχανικές ανάγκες. Θα πρέπει να προαχθεί η μεγαλύτερη μετάδοση τεχνογνωσίας μέσω προληπτικών συμμαχιών που σφυρηλατείται από την αρχή της όποιας πρωτοβουλίας έρευνας παρά από το τέλος, όχι μόνο για να φέρει θεμελιώδη εξειδίκευση στη φυσική και στη χημεία αλλά με την ενεργή ενασχόληση των βιοιατρικών ερευνητών.

Η επί του παρόντος βάση της βιομηχανικής έρευνας στα υλικά για τον κλάδο της υγείας περιλαμβάνει «ένα μείγμα περιπτώσεων» ενός περιορισμένου αριθμού των πολύ μεγάλων διεθνών, όμως τα SMEs συνεισφέρουν ολοένα και περισσότερο στην αντοχή και το δυναμισμό του κλάδου. Ενώ μερικές από τις καλύτερες έρευνες

αντλούν τεχνογνωσία από υλικά καθώς επίσης και τις βιολογικές επιστήμες, πολλή προσπάθεια έχει σχέση με τα κλασικά υλικά. Έτσι, με την εξαίρεση των κραμάτων με μνήμη σχήματος, τα έξυπνα υλικά δεν αποτελούν σημαντικό στοιχείο. Όμως, πολλά πρόσφατα σχεδιασμένα υλικά για παράδειγμα, για το έλεγχο της κυκλοφορίας του φαρμάκου και της τροποποίησης της αντίδρασης του ιστού, έχουν μερικά χαρακτηριστικά έξυπνων υλικών, και θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντικές προόδους στα έξυπνα υλικά.

Ο κλάδος της υγείας παρέχει μια αξιοθαύμαστη ποικιλία, κλάδου υψηλής προστιθέμενης αξίας για τα έξυπνα υλικά. Έτσι τα προγράμματα που προωθούνται έχουν την δυνατότητα του υψηλού αντικτύπου. Επιπλέον, τα έξυπνα υλικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, όχι μόνο σαν εμφυτεύματα, αλλά επίσης στις εξωτερικές βοηθητικές τεχνολογίες, στα υλικά με περιορισμένη επαφή, *in vivo* probes και σαν συστατικά στην διάταξη ελέγχου των διαγνωστικών εγκαταστάσεων.



4.4.1 Εξωτερικές βοηθητικές τεχνολογίες

Η απώλεια νευρομυϊκής λειτουργικότητας αποτελεί ένα μεγάλο κοινωνικό βάρος κατά της διάρκειας της ζωής. Είτε από αρρώστεια είτε από τραύμα, η απώλεια της

λειτουργίας είτε κινητικού είτε αισθητηρίου οργάνου καθιστά το άτομο ανύμπορο να παρουσιαστεί στο περιβάλλον ή να έχει την επιθυμητή δύναμη και κινητικότητα για μια ανεξάρτητη ανταπόκριση. Τα έξυπνα υλικά για την αναγνώριση της φύσης και της κατεύθυνσης των ακουστικών, οπτικών, θερμικών και των πληροφοριών της αφής θα παρείχαν ένα αισθητήριο εξάρτημα κλειδί και με την ενσωματωμένη «έξυπνάδα» η δυνατότητα της σχετιζόμενης μεταδόσης θα οδηγούσε τις κινητικές αντιδράσεις που πυροδοτούνται από το ηλεκτρόδιο. Ο διαβήτης και το εγκεφαλικό είναι μόνο δύο καταστάσεις όπου η απώλεια δύναμης και αίσθησης είναι μεγάλο ζήτημα ιδιαίτερα με το συμβιβασμό της περιφερειακής λειτουργίας του μέλους.

Η απώλεια της προστατευτικής αντίδρασης σε τραύματα και όποια απώλεια ιστού που έρχεται σαν συνέπεια δημιουργούν πολλές απαιτήσεις στον τομέα της υγείας. Με μακροχρόνια βάση, τα έξυπνα υλικά για την προσθετική μελών, με τις μηχανικές ιδιότητες για να ταιριάζει ο ιστός, μπορεί εν τέλει να ενταχθούν σε μοναδικά συστήματα που προσφέρουν συνεχή συνθηματική ένδειξη για την τελειοποίηση της κίνησης του βηματισμού. Εναλλακτικά, τα έξυπνα υλικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον πιο ασαφή έλεγχο των συσκευών μηχανολογικής υποστήριξης. Ο έξυπνος ρουχισμός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να προσφέρει διανεμημένη αίσθηση για να βοηθήσει στο συντονισμό ενός γενικότερου βηματισμού ή κινητικής αντίδρασης.

4.4.2 Υλικά περιορισμένης επαφής

Μπορεί να υπάρχει ανάγκη για μερικά υλικά μόνο για βραχυχρόνια θεραπευτική ή διαγνωστική διαχείριση. Η απώλεια της ακεραιότητας του δέρματος, για παράδειγμα, μέσω επιπόλαιων τραυμάτων ή εγκαυμάτων, έχει διεγείρει την ανάπτυξη ενός βιονεργητικού επικαλύματος πληγής με δέρμα που είναι φτιαγμένο από ιστό, στα πρόθυρα του τρέχοντος κελύφους και τις εφαρμογές για την κατασκευή ιστού. Το φυσικό και το κατασκευασμένο δέρμα είναι από μόνο του ένα έξυπνο υλικό, όμως ένα τεχνητό έξυπνο επικαλυπτικό υλικό ή συνενωτικό που να έχει τη δυνατότητα, ας πούμε, να βελτιώνει την θεραπεία του τραύματος, να εντοπίζει και να αντιδρά στις τοπικές μολύνσεις και ίσως ακόμα να προσαρμόζει την τοπική κυκλοφορία ενός

θεραπευτικού φαρμάκου, θα παρείχε μια πολύτιμη εναλλακτική μέθοδο σε επιλεγμένες περιστάσεις.

Η τεχνολογία της υδρογέλης έχει δημιουργήσει πολυμερή υλικά που μπορούν να διογκώνονται, να συστέλλονται, να απελευθερώνουν το ωφέλιμο φορτίου του φαρμάκου, να αλλάζουν οπτικές ιδιότητες και να ταλαντεύονται σε αντίδραση μια πλειάδας εξωτερικών ηλεκτρομαγνητικών και εκείνων που δίνουν το έρισμα για μεσολαβητικά διαλύματα. Η ευαισθησία του περιβάλλοντος και οι επακόλουθες μεταβολές στην ιδιότητα αυτής της «μαλακής» τεχνολογίας θα μπορούσε να προσφέρει την απαραίτητη αντικατάσταση υλικών για το σχεδιαστή για ένα ευρύ φάσμα ιατρικών αναγκών, από τον τεχνητό μυ έως την θεραπεία με σκοπό την εξάλειψη του καρκίνου.

Τα υλικά που έχουν τη δυνατότητα να διασχίζουν το δέρμα και τα βλεννώδη επιθήλια φράγματα θα μπορούσαν να επιτύχουν την χρήση του φαρμάκου δίχως βελόνα. Τέτοιοι μεταφορείς θα μπορούσαν να παραδώσουν τη θεραπεία του φαρμάκου σε επιλεγμένες περιοχές. Η βελόνα, ο καθετήρας και οι συσκευές ενδοσκοπησης μπορεί να έχουν έλλειψη ευελιξίας και να έχουν πολύ μεγάλη δυνατότητα εισβολής για μερικές κλινικές εφαρμογές. Η ελεγχόμενη πολύ-κατευθυνόμενη ευελιξία εδώ, σε συνδυασμό με την έμφυτη δυνατότητα αίσθησης/καθοδήγησης, θα μπορούσαν να μειώσουν τα επίπεδα της «εισβολής» και να βοηθήσουν για την απαλλαγή της ζημιάς που θα μπορούσε να προκύψει αν πούμε από την καλή τοποθέτηση. Ομοίως, για τα εργαλεία χειρουργικής, κυρίως για την μικροχειρουργική, η καταγραφή της τοποθεσίας και της πίεσης θα βοηθούσε στο μέλλον τις λειτουργικές διαδικασίες και αν μη τι άλλο θα βοηθούσε στη σύγκριση διαφορετικών λειτουργικών τεχνικών, που θα τις συσχέτιζαν πιο αντικειμενικά σε αποτελέσματα για τη βελτίωση και της αξιοπιστίας και της δυνατότητας αναπαραγωγής της χειρουργικής πρακτικής.

4.4.3 Συστήματα in vivo

Τα υπάρχοντα βιο-υλικά χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν την χαμένη δομή του ιστού και λειτουργούν για σημαντικά μεγαλύτερες περιόδους, όμως με συσσωρευτικές επιπλοκές. Η δυνατότητα για επι τόπου προσαρμογή και ανταπόκριση

θα έφερνε επαναστατικά αποτελέσματα. Ένα έγκυρο αρχικό σημείο είναι η ενσωμάτωση των στοιχείων των έξυπνων υλικών στις υφιστάμενες συσκευές. Τα φυσικά, χημικά ενσωματωμένα και οι βιο-αισθητήρες θα μπορούσαν να εισάγουν αντίξοα φαινόμενα στην επιφάνεια όπως την πήξη της επιφάνειας, φλεγμονώδεις μεταβολές εξαιτίας της μη-αποδοχής και της μόλυνσης, καθώς επίσης να βοηθήσουν στην ποσοτικοποίηση της προέλασης του εμφυτεύματος σε πλήρη ενσωμάτωση με τον τοπικό ιστό. Όπου είναι απαραίτητο θα μπορούσαν να παρθούν μέτρα για να αποφευχθεί η αποτυχία του εμφυτεύματος. Αν μπορούσε να ενεργοποιηθεί η απελευθέρωση του αντενεργού φαρμάκου ή η δομική αλλαγή σ' ένα υλικό που βασίζεται σε αλλαγές στη ζήτηση *in vivo*, τότε η ανάγκη για εξωτερική θεραπευτική διαχείριση θα μπορούσε να ελαχιστοποιηθεί. Η στοχοποίηση του φαρμάκου χρησιμοποιώντας ένα έξυπνο υλικό για να κατευθυνθεί στον συγκεκριμένο ιστό, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας χημιοτοξικά ή η σύνδεση σε συγκεκριμένους υποδοχείς κελύφους, θα μπορούσε να βοηθήσει στην οικονομία της δόσης και την ελαχιστοποίηση των παρενεργειών.

Μια έξυπνη πολυμερή διασύνδεση που ανταποκρίνεται σε εξωτερικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία με μια μεταβολή στην ιδιότητα της επιφάνειας, θα μπορούσε να επιτρέψει την επαναμοντελοποίηση και την αναδημιουργία μιας διασύνδεσης, επιτρέποντας την εξάλειψη των ανεπιθύμητων βιομεμβρανών στους καθετήρες και στα ιατρικά μπαλονάκια ή στην ελαχιστοποίηση των βιορυπαντικών στρωμάτων. Η αναδόμηση των πολυμερών ικριωμάτων κάτω από προσανατολισμένα πεδία δυνάμεων θα διευκόλυνε την τροποποίηση, χωρίς εισβολές, του κατασκευασμένων εμφυτευμάτων ιστού, για παράδειγμα, σε ό,τι αφορά τη διάσταση, την ανισοτροπικότητα και την πορώδη υφή. Σαν μακροχρόνια πιθανότητα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μικρά σώματα, ισότιμα με την έξυπνη σκόνη που δοκιμάστηκε στη χημικό ατμοσφαιρικό έλεγχο, για να μετρήσουν επακριβώς την απόδοση ενός ιστού σε ένα κρίσιμο κομμάτι του σώματος (την καρδιά ή τον πνεύμονα) μετά την ιατρική επέμβαση ή κατά τη διάρκεια μια χρόνιας αρρώστιας.

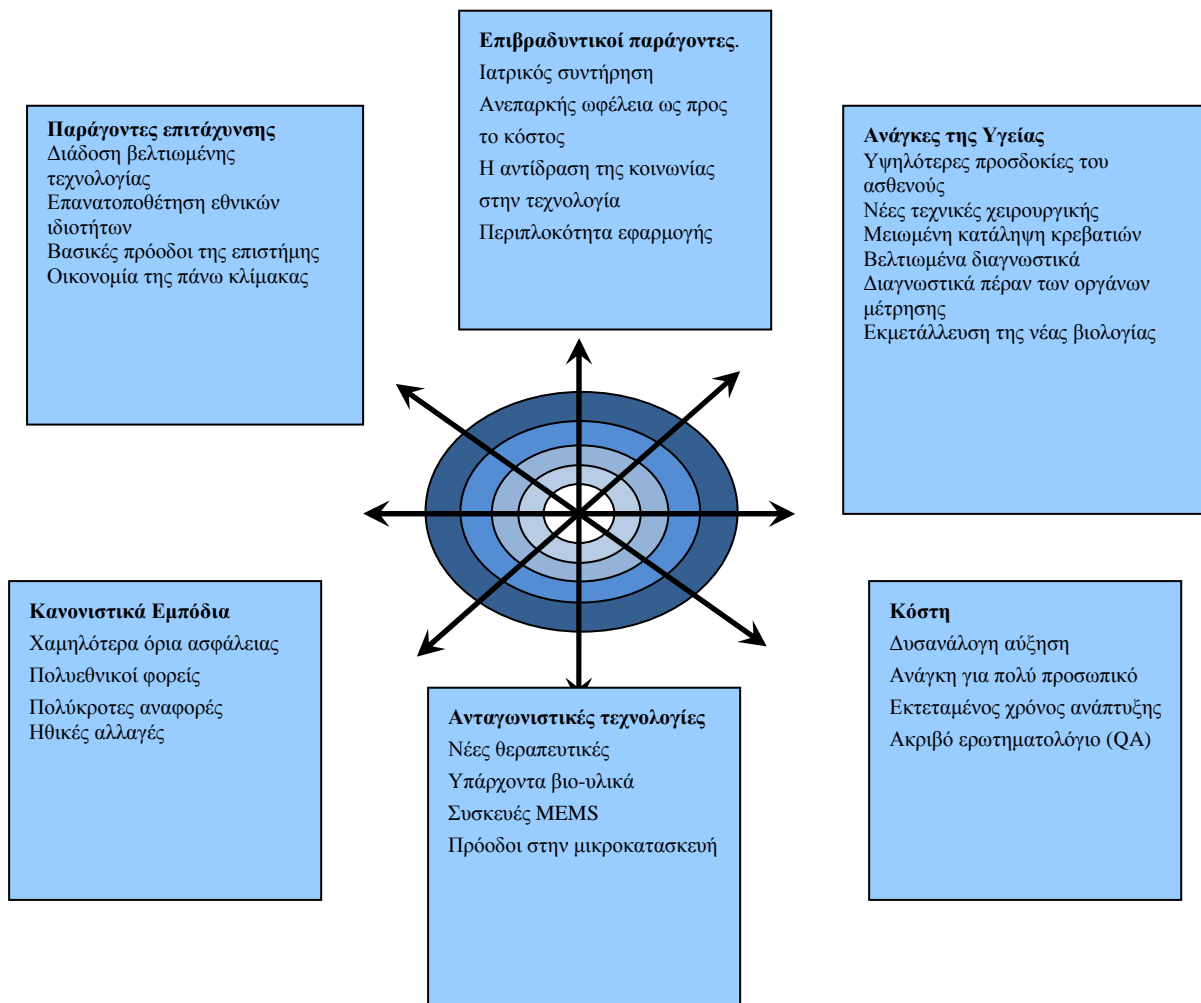
4.4.4 Διαγνωστική διάταξη ελέγχου συστημάτων

Τα έξυπνα υλικά χρησιμοποιώντας υπέρηχο ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σαν μορφή πληροφόρησης προσφέρουν επιπλέον μικρογραφία και μια εκλεπτυσμένη πλατφόρμα διατάξης ελέγχου συστημάτων για μια νέα γενιά ιατρικών συστημάτων εικόνας. Μια τέτοια προσέγγιση – χρησιμοποιώντας ακόμα μικρότερες βαθμίδες μήκους που εκτείνονται σε υπό-εκατομμυριοστόμετρα – θα μπορούσαν να τελικά να επεκταθούν για να δώσουν λειτουργική και δυναμική εικόνα

Στην εποχή της μετα-γενετικής, μια έξυπνη κάρτα για τη γενετική συμπίεση στοιχείων και σαν εκλεπτυσμένο εργαλείο για την εξατομίκευση της θεραπείας του φαρμάκου θα έφερνε επανάσταση στην κλινική λήψη απόφασης. Τα έξυπνα υλικά μέσα σε τέτοιες διατάξεις θα μπορούσαν να απλοποιήσουν την αναφορά της βιολογικών μετρήσεων και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προσωπικό έλεγχο με πολλαπλές παραμέτρους.

4.4.5 Εμπόδια στην εκμετάλλευση

Έχει δοθεί αυξημένη προσοχή στα έξυπνα υλικά για την βελτίωση του βιομηχανικού προϊόντος. Η προσαρμογή μερικών από τα υλικά, που έχουν σαν στόχο τη βιομηχανία, στον κλάδο της υγείας, ενώ είναι σε αρχικό στάδιο, θα μπορούσε να προσφέρει σχετικά πρόωρα οφέλη. Μια έλλειψη απόδοσης εξειδίκευσης για να διευκολυνθούν τέτοιες ανταλλαγές μετακίνησης είναι ένα σημαντικό πρόβλημα. Επίσης, υπάρχουν μεγαλύτερα κανονιστικά εμπόδια, πιο περίτεχνα τεστ ιατρικών αγωγών και αυστηρές κοινωνικές απαιτήσεις ως προς την ασφάλεια που θέτουν σημαντικά προβλήματα και για την ύπαρξη και για την εισαγωγή νέων υλικών στον κλάδο της υγείας. Ενώ τα επιθυμητά λειτουργικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι επιτεύξιμα, αυτά δεν μπορούν να συμβιβαστούν με τις οικονομικές, κανονιστικές και ελεγκτικές και χρονικές γραμμές για τα βιώσιμα κλινικά προϊόντα. Οι παράμετροι που τίθενται για να επηρεάσουν τη μετάφραση της βασικής επιστήμης και τεχνολογίας σε έξυπνα υλικά για τον κλάδο της υγείας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



4.5 Εφαρμογές των μαγνητικών ευφυών υλικών στην αεροδιαστημική

Διαστημικό Τηλεσκόπιο Νέας Γενιάς(61)

Σύμφωνα με συμβόλαια που έχουν υπογραφεί μεταξύ αεροδιαστημικών εταιριών και της κατασκευάστριας εταιρίας Energen, η τελευταία έχει αναλάβει να αναπτύξει και να παρουσιάσει μια σειρά από ενεργοποιητές συνεπτυγμένου μεγέθους «compact» για χρήση στο Διαστημικό Τηλεσκόπιο Νέας Γενιάς (NGST). Το (NGST) είναι ένα project ύψους πεντακοσίων εκατομμυρίων δολαρίων προγραμματισμένο να σταλεί στο διάστημα μέσα στο 2007 προς αντικατάσταση του τηλεσκοπίου Hubble. Θα έχει ένα μεγάλο διαμετρήματος (6-8m διάμετρος) ελαφριάς κατασκευής καθρέφτη ο οποίος θα αποσταλεί ξεχωριστά και θα συναρμολογηθεί σε τροχιά. Το μεγάλο άνοιγμα του τηλεσκοπίου και η τεχνολογία παθητικής ψύξης έχουν ως αποτέλεσμα ένα παρατηρητήριο μεγάλης ευκρίνειας ακόμα και σε επίπεδο υπέρυθρων.

Όσον αφορά στο τηλεσκόπιο Hubble ο βασικός καθρέφτης ήταν μία ιδιαίτερα περιορισμένου αναπτύγματος κατασκευή παρόμοια με αυτές που συναντάμε στα τηλεσκόπια εδάφους. Ενώ στο NGST χρησιμοποιείται αυτή η ελαφρά κατασκευή του καθρέφτη που προαναφέρθηκε αλλά και η τεχνολογία του συστήματος του κάτοπτρου. Το τελευταίο θα αποτελείται από διάφορα κοίλα τμήματα που θα αναπτυχθούν πλήρως μετά την εκτόξευση. Κάθε τμήμα αποτελείται από ένα άκαμπτο σύνθετης κατασκευής υπόστρωμα πάνω στο σύνολο των οποίων τοποθετείται το κάτοπτρο. Μια διάταξη από ενεργοποιητές συνδέουν την επιφάνεια του κάτοπτρου με τα άκαμπτα υπόστρωμα και χρησιμοποιούνται για να ευθυγραμμίζουν το κάτοπτρο και για να διορθώνουν παρεκκλίσεις της εμφανιζόμενης εικόνας οφειλόμενη σε εξωτερικά φαινόμενα. Οι μαγνητοστατικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται από την Energen σε ένα άλλο project που αφορά σε κάτοπτρα (AMSD) που αποτελεί μια μικρής κλίμακας επίδειξη της τεχνολογίας του NGST. Η επιτυχία της επίδειξης αυτής θα οδηγήσει σε μια δεύτερη που θα πραγματοποιηθεί εν πτήση ώστε να δοκιμαστεί το σύστημα σε συνθήκες μηδενικής βαρύτητας.



Εφαρμογή των έξυπνων υλικών στις μελλοντικές κατασκευές διαστημοπλοίων(61)

Πλακάκια προηγμένης τεχνολογίας, που θα προστατεύουν τα διαστημόπλοια από τις υψηλές θερμοκρασίες παρασκευάζουν επιστήμονες στο ερευνητικό κέντρο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος". Η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία έχει ήδη δείξει μεγάλο ενδιαφέρον για το πρωτοποριακό αυτό επίτευγμα των Ελλήνων επιστημόνων, που έως τα τέλη του 2007 θα χρησιμοποιηθεί δοκιμαστικά σε πραγματικές συνθήκες πτήσης στο Διάστημα. Το συγκεκριμένο υλικό θα προστατεύει τα διαστημόπλοια όχι μόνο από τις υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και από τυχόν χτυπήματα μετεωριτών, δίνοντας τη δυνατότητα στα διαστημόπλοια να εισέρχονται στην ατμόσφαιρα με μεγάλες ταχύτητες.

Το "Υβριδικό Θέρμο-Προστατευτικό Σύστημα" (Hybrid Thermal Protection System ή "Hybrid-TPS"), που αναπτύσσεται στο Εργαστήριο Προηγμένων Κεραμικών του Ινστιτούτου Επιστήμης Υλικών του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" σε συνεργασία με την ESA και εταιρείες στην Ελλάδα και την Ευρώπη, είναι ένα από τα πλέον υποσχόμενα συστήματα νέας γενιάς για προστασία διαστημοπλοίων.

Ο Δρ. Γιώργος Βεκίνης, υπεύθυνος του Εργαστηρίου Προηγμένων Κεραμικών και η συνεργάτιδά του Δρ. Γκαλίνα Ξανθοπούλου, εδώ και μερικά χρόνια αναπτύσσουν ειδικά πυρίμαχα θερμομονωτικά προηγμένα κεραμικά υλικά με την μέθοδο της ελεγχόμενης καύσης (μέθοδος "SHS") για εφαρμογές σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τα οποία έχουν προστατευτεί με διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Η πατέντα των Ελλήνων Επιστημόνων θα χρηματοδοτείται πλέον από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία, ενώ ενδιαφέρον για τα πλακίδια έχει εκδηλώσει και η NASA. Μάλιστα, το επόμενο στάδιο είναι πλέον η βιομηχανική παραγωγή, να παραχθούν από εταιρεία στην Ελλάδα. Εξάλλου, σε λίγο καιρό θα γίνουν στην Ολλανδία οι τελικές δοκιμές για την αντοχή των πλακιδίων.

4.6 Εφαρμογές των μαγνητικών ευφυών υλικών στις κατοικίες

(67) «Έξυπνα σπίτια, που θα είναι οικολογικά, ενεργειακά ανεξάρτητα, οικονομικά και με φωτισμό που θα αλλάζει ανάλογα με τη διάθεση των κατοίκων τους, αναμένεται να μπου στη ζωή μας μέσα στην προσεχή δεκαετία, χάρη στις εφαρμογές των εύκαμπτων οργανικών ηλεκτρονικών υλικών.

Τα εύκαμπτα οργανικά ηλεκτρονικά υλικά, που ήδη έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται στις οθόνες των κινητών, αναμένεται, στο τέλος του χρόνου, να έχουν εφαρμογή στους φορητούς υπολογιστές και σε δύο χρόνια στις οθόνες τηλεοράσεων, που θα μπορούν να τυλίγονται σε ρολό.

Σύμφωνα με το ΑΠΕ-ΜΠΕ, χάρη στις εφαρμογές των εύκαμπτων ηλεκτρονικών σε φωτοβολταϊκά, σε ηλεκτροχρωμικές οθόνες φωτισμού και σε επικοινωνιακά συστήματα, τα προσεχή 5-10 χρόνια θα μπορούμε πλέον να κατοικούμε σε «έξυπνα σπίτια», που θα είναι οικολογικά και ενεργειακά ανεξάρτητα και θα έχουν φωτισμό, που το χρώμα του θα αλλάζει ανάλογα με τις προτιμήσεις εκείνων που θα τα κατοικούν. Αυτό θα επιτευχθεί χάρη σε λεπτές μεμβράνες που θα συλλέγουν την ηλεκτρική ενέργεια και θα τη μετατρέπουν σε ηλεκτρισμό.

Τα εύκαμπτα οργανικά ηλεκτρονικά υλικά αναμένεται να βρουν πλήθος νέων εφαρμογών, όπως το ηλεκτρονικό χαρτί, με το οποίο θα αλλάξει και ο τρόπος με τον οποίο διαβάζουμε την εφημερίδα. Ο αναγνώστης, δηλαδή, θα μπορεί να διαβάζει την εφημερίδα του, ξετυλίγοντας έναν λεπτό ηλεκτρονικό «πάπυρο» χαρτιού, με τρισδιάστατες πληροφορίες και εικόνες από το διαδίκτυο.

Επίσης, τα εύκαμπτα οργανικά υλικά θα έχουν εφαρμογές σε αισθητήρες, εύκαμπτες μπαταρίες και στην κλωστοϋφαντουργία, όπου θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία «έξυπνων» ενδυμάτων, που θα ζεσταίνουν αυτόν που θα τα φορά. Εξάλλου, οι ιατρικές εξετάσεις θα μπορούν να γίνονται πλέον μέσω αισθητήρων, που θα διαθέτουν τα «έξυπνα» ρούχα, τα οποία θα συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και θα τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική.

5.ΕΠΙΛΟΓΟΣ(64)

Όπως υπογραμμίστηκε, υπάρχει ένας αριθμός σημαντικών δυνητικών αγορών για τα έξυπνα υλικά. Ο κλάδος του αεροδιαστήματος είναι σχετικά συντηρητικός, κυρίως λόγω της ανάγκης για πιστοποίηση της καταλληλότητας για πτήση. Ο κλάδος της αυτοκινητοβιομηχανίας με τον μεγάλο όγκο παραγωγής, θα πρέπει να δει αυξημένη χρήση των έξυπνων υλικών σε αντίθεση με την απλή προσθήκη των αισθητήρων για τη βελτίωση της επίδοσης των συστημάτων του αυτοκινήτου. Ο κλάδος του ναυτικού ήταν ανέκαθεν συντηρητικός, όπως επίσης και ο κλάδος των σιδηροδρόμων, όμως θα πρέπει σίγουρα να υπάρχουν ευκαιρίες στον τελευταία αναφερόμενο κλάδο για τα έξυπνα υλικά και στο σιδηροδρομικό υλικό και στις βελτιώσεις κατασκευής.

Αρκετά πεδία έρευνας θα μπορούσαν να ενδυναμωθούν προκειμένου να αρθούν μερικά από τα εμπόδια για την εκμετάλλευση των έξυπνων υλικών σ' αυτούς τους κλάδους:

- Πιεζοηλεκτρικές σύνθετες ίνες για να δώσουν τη δυνατότητα για κατασκευαστικές εφαρμογές (μέσω της ένταξης ενεργοποιητή/κατασκευής.
- Υψηλής απόδοσης μοναδικών κρυσταλλικών πιεζοηλεκτρικών ενεργοποιητικών υλικών.
- Πολυμερή υλικά με μνήμη σχήματος.

Τα τελευταία αναφερόμενα θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές εφαρμογές στον ιατρικό κλάδο και πιθανόν και αλλού.

Επίσης στον ορισμό που έχουμε δώσει στα έξυπνα προϊόντα, υπάρχει μια πλειάδα υποψήφιων υλικών και συστημάτων που έχουν περιγραφεί, μερικά από τα οποία έχουν ήδη αρχίσει να βρίσκουν το δρόμο προς τις πραγματικές εφαρμογές στον κλάδο των κατασκευών. Δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμα να κάνουμε γενικές συστάσεις συγκρίνοντας τις μεμονωμένες τεχνολογίες, δεδομένου ότι η τελική ανάθεση θα είναι συγκεκριμένη για μια εφαρμογή, ακόμα και έναν συγκεκριμένο κλάδο, και θα είναι

βασισμένη στη δοσοληψία των παραμέτρων απόδοσης, συμπεριλαμβανομένου του κόστους. Όμως, τα μεγάλα θέματα (επιπρόσθετα του κόστους) που θα επηρεάσουν την εμπορική εκμετάλλευση κάποιας από τις υποψήφιες τεχνολογίες σ' αυτόν τον κλάδο περιλαμβάνουν την δομική ένταξη και την απόδοση κατά τη διάρκεια της ζωής (σε μερικές περιπτώσεις χρήση παραπάνω από πολλές δεκαετίες). Επιπλέον δουλειά απαιτείται σ' αυτά τα συγκεκριμένα πεδία.

Αν η χρήση των έξυπνων υλικών είναι για την αύξηση του κλάδου των σπορ και αναψυχής, αυτοί που δουλεύουν στα έξυπνα υλικά θα πρέπει να συνεργαστούν στενά με τους κατασκευαστές εξοπλισμού για τα σπορ και τους επιστήμονες των σπορ. Για να διευκολυνθεί αυτό υπάρχει ανάγκη για:

- Αύξηση της κατανόησης των έξυπνων υλικών και των έξυπνων τεχνολογιών των επιστημόνων των σπορ και της άσκησης, των κατασκευαστών του εξοπλισμού των σπορ και των υφιστάμενων μηχανικών των σπορ. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω εργαστηρίων ή ανάπτυξης των δικτύων.
- Έκδοση ενός προγράμματος έρευνας που είναι βασισμένο στη μηχανολογία των σπορ μέσω χρηματοδοτήσεων. Η προτάσεις έρευνας που βασίζονται στη μηχανολογία των σπορ συχνά δυσκολεύονται να ανταγωνιστούν με τα συντηρητικά σχέδια χρηματοδότησης, που κυριαρχούνται από παραδοσιακούς μηχανολόγους-μηχανικούς. Το κάλεσμα για προτάσεις θα μπορούσε να έχει μια ιδιαίτερη παραπομπή έξυπνων συστημάτων ή να απαιτούν από τους πολύ-πειθαρχικούς ερευνητές τις πειθαρχίες που αναφέρονται παραπάνω

Τέλος είναι αναγκαίο να διενεργηθεί μεγαλύτερη έρευνα στις θεμελιώδεις διασυνδεδεμένες ιδιότητες των έξυπνων υλικών που υπάρχουν και της συμπεριφοράς αυτών στα βιοσυστήματα. Αυτό θα βοηθήσει στην πληροφόρηση της μελλοντικής προσπάθειας για έρευνα και στην τελική τους χρήση σαν εμφυτεύματα. Χρειάζονται πολυμερείς εναλλακτικές για τα ανόργανα υλικά και μεγαλύτερη προσοχή στον μαλακό ιστό και στην ολική οργανική λειτουργική αντικατάσταση. Οι αισθητήρες σαν ενσωματωμένα στοιχεία μέσα στα εμφυτευμένα υλικά είναι μια αρχή, όμως μόνο τα έξυπνα υλικά μπορούν να προσφέρουν πλήρη ενσωμάτωση στις λειτουργίες

αίσθησης και ανταπόκρισης. Τα υλικά που μπορούν να απευθυνθούν εξωτερικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ελέγξιμα οχήματα παράδοσης φαρμάκων με στόχο συγκεκριμένο όργανο και ιστό.

Η εμφύτευση θέτει μια αρκετά διαφορετική πρόκληση για την ανάπτυξη των εξωτερικών βοηθητικών συσκευών όμως μπορούν να παραχωρήσουν μέγιστα οφέλη ως προς την υγεία. Είναι ανάγκη η έρευνα να εστιάσει πρώτα στην ενσωμάτωση των έξυπνων υλικών με τα τωρινά αποδεκτά βιο-υλικά. Υλικά με υψηλή μικροβιακή αντίσταση θα πρέπει να έχουν μεγάλη προτεραιότητα λόγω του αυξανόμενου βάρους της μολυσματικής ασθένειας, όμως υπάρχει η ανάγκη να είναι «έξυπνο» έτσι ώστε να μπορεί να αντιμετωπίζει τις δυναμικά μεταβαλλόμενες ιδιότητες των μικροβιακών μεμβρανών. Εξ ίσου σημαντικό θα ήταν η επιλεκτική στόχευση του ιστού για τη θεραπεία του φαρμάκου, το να επιτραπεί η εκμετάλλευση ενός ευρύτερου θεραπευτικού ρεπερτορίου. Η πρόκληση εδώ θα ήταν ο σχεδιασμός μοριακής βαθμίδος έξυπνου υλικού.

Οι νευρο-αισθητηριακές προσθετικές θα επέτρεπαν μεγαλύτερη ανεξαρτησία και καλύτερη ποιότητα ζωής – που είναι πολύ σημαντικό για τον ηλικιωμένο πληθυσμό. Η ανάγκη εδώ είναι για μια μικρογραφία συσκευής, σταθεροποίησης και μετάδοσης υψηλής πυκνότητας πληροφόρησης. Η θεμελίωση αυτής της εφαρμοσμένης έρευνας θα ήταν περισσότερο πρωταρχική προσπάθεια για τις βιο-μιμητικές δομές, που θα μπορούσαν τελικά να ενταχθούν σε αντιδραστικά λειτουργικά συστήματα. Η αξία της διεξοδικής αυτό-διάγνωσης στην υγεία και οι γενετικές έξυπνες κάρτες έχουν την ανάγκη κριτικής αποτίμησης σε σχέση με τις ηθικές και νομικές μελέτες, πριν την οποιαδήποτε στοχευμένη χρηματοδότηση. Μεσοπρόθεσμα, οι παρεμβάσεις με ελάχιστες δυνατότητες εισβολής θα ενισχύσουν την καλύτερη κλινική διαχείριση, όμως επί του παρόντος αυτό δεν είναι ο μεγαλύτερος ανασχετικός παράγοντας.

Ακόμα και στην αρχική φάση, η χρηματοδότηση θα πρέπει να είναι σε πλήρως πολυ-πειθαρχικά προγράμματα τα οποία σαν νόρμα περιλαμβάνουν μελέτη της αλληλεπιδραστικής συμπεριφοράς ενός έξυπνου υλικού στο βιολογικό περιβάλλον. Οι γοργές πρόοδοι σ' αυτό το επίπεδο, μέσω προσπάθειας συντονισμένης με πολλούς συντελεστές, θα πρόσφερε επαρκή ορμή για σοβαρή αποτίμηση και εκ των υστέρων

χρήση των έξυπνων υλικών στον κλάδο της υγείας. Αυτοί που προσφέρουν έρευνα θα πρέπει να προέρχονται και από την ανώτατη εκπαίδευση και από τους κλάδους της υγείας, έτσι ώστε η έρευνα των έξυπνων υλικών να μπορεί να έχει σαν στόχο τις πραγματικές και όχι τις υποτιθέμενες κλινικές ανάγκες της υγείας.

Οι ευκαιρίες και τα κίνητρα θα πρέπει να βελτιωθούν σημαντικά με τα έξυπνα υλικά, όταν τεθούν σαν προτεραιότητα για την διασταυρούμενα-πειθαρχημένη χρηματοδότηση.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. S.K. Deb, A novel electrophotographic system. *Appl. Opt., Suppl.* **3**, 192–195 (1969).
2. B.-S. Yu, E.-S. Kim, and Y.-W. Lee, Developments in suspended particle devices (SPD). *Proc. SPIE* **3138**, 217–225 (1997).
3. G.P. Montgomery, Polymer-dispersed and encapsulated liquid crystal films. In *Large Area Chromogenics: Materials and Devices for Transmittance Control* (C.M. Lampert and C.G. Granqvist, eds.), σελ. 577. SPIE, Washington, DC, 1998.
4. K.A. Khan and C.G. Granqvist, Thermochromism of Sputter deposited vanadium oxyfluoride coatings. In *Large Area Chromogenics: Materials and Devices for Transmittance Control* (C.M. Lampert and C.G. Granqvist, eds.), σελ. 160. SPIE, Washington, DC, 1998.
5. A. Georg, W. Graf, D. Schweiger, V. Wittwer, P. Nitz, and H. Wilson, Switchable glazing with a large dynamic range in Total Solar Energy Transmittance (TSET). *Sol. Energy* **62**(3), 215–228 (1998).
6. W.J. Platzer, Determination of key glazing parameters. Part 1. Total solar energy transmittance. *Proc. Windows Innovations Conf. WIC '95*, Toronto, Canada, 1995, σελ. 22–31.
7. C.G. Granqvist, Introduction to materials science for solar energy conversion systems. In *Materials Science for Solar Energy Conversion Systems* (A.A.M. Sayigh, ed.), p. 1. Pergamon, New York, 1991.

8. *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, Chapter 27. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1981.
9. S.E. Selkowitz, and C.M. Lampert, Applications of large area chromogenics to architectural glazing. In *Large Area Chromogenics: Materials and Devices for Transmittance Control*, σελ. 22. (C.M. Lampert and C.G. Granqvist, eds.), SPIE, Washington, DC, 1998.
10. A.W. Czanderna, J.-G. Zhang, C.E. Tracy, D.K. Benson, and S.K. Deb, Accelerated life testing of large area electrochromic devices for window application. *Proc. SPIE* **3138**, 68–77 (1997).
11. R. Sullivan, S. Selkowitz, P. Lyons, P.C. Thomas, I. Heimonen, I. Andresen, O. Aschehoug, H. Simmler, P. Eggimann, and T. Frank, Energy simulation studies in IEA/SHC task 18 advanced glazings and associated materials for solar and building applications. *Proc. Windows Innovations Conf. WIC '95*, Toronto, Canada, 1995, σελ. 635–662.
12. P.K. Nair, M.T.S. Nair, A. Fernandez, and M. Ocampo, Prospects of chemically deposited chalcogenide thin films for solar control applications. *J. Phys. D* **22**(6), 829–836 (1989).
13. J. Ferber and W. Platzer, Correct optical measurement of scattering samples. *Proc. SPIE* **2255**, 708–717 (1994).
14. M.D. Rubin, *IEA Task 18, Project B3: Chromogenic Glazing*, Final report. 1997.

15. M.A. Sobhan, R.T. Kivaisi, B. Stjerna, and C.-G. Granqvist, Thermochromism of sputter deposited $W_x V_{1-x} O_2$ films. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **44**(4), 451–455 (1996).
16. H.R. Wilson, Potential of thermotropic layers to prevent overheating—A review. *Proc. SPIE* **2255**, 214–225 (1994).
17. D. Schweiger, A. Georg, W. Graf, and V. Wittwer, Examination of the kinetics and performance of a catalytically switching (gasochromic) device. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **54**, 99–108 (1998).
18. A. Georg, W. Graf, R. Neumann, and V. Wittwer, Stability of gasochromic WO_3 films. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **63**, 165–176 (2000).
19. J.-G. Zhang, D.K. Benson, C.E. Tracy, and S.K. Deb, The influence of microstructure on the electrochromic properties of $Li_x WO_3$ films. Part II. Limiting mechanisms in coloring and bleaching processes. *J. Mater. Res.* **8**(10), 2657–2667 (1993).
20. C.G. Granqvist, A. Azens, A. Hjelm, L. Kullman, G.A. Niklasson, D. Ronnow, M. Stromme Mattson, M. Veszeli, and G. Vaivars, Recent advances in electrochromics for smart windows applications. *Sol. Energy* **64**(4), 199–216 (1998).
21. G.E. Tulloch, I.L. Skryabin, G. Evans, and J.M. Bell, Operation of electrochromic devices prepared by sol-gel methods. *Proc. SPIE* **3136**, 426–432 (1997).
22. B.W. Faughnan and R.S. Crandall, Electrochromic display based on WO_3 , *Top. Appl. Phy.* **40** (1980).

23. T. Kase, T. Miyamoto, T. Yoshimoto, Y. Ohsawa, H. Inaba, and K. Nakase, Performance of tungsten oxide/prussian blue device. In *Large Area Chromogenics: Materials and Devices for Transmittance Control* (C.M. Lampert and C.G. Granqvist, eds.), σελ. 504. SPIE, Washington, DC, 1998.
24. J.M. Bell, J. Barczynska, L.A. Evans, K.A. MacDonald, J. Wang, D.C. Green, and G.B. Smith, Electrochromism in sol-gel deposited TiO₂ films. *Proc. SPIE* **2255**, 324–331 (1994).
25. A. Agrawal, J.P. Cronin, and R. Zhang, Review of solid state electrochromic coatings produced using sol-gel techniques. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **31**(1), 9–22 (1993).
26. I.C. Shepherd, R.F. La Fontaine, and A. Cabelli. *J. Sound Vib.*, **130**: 125–135 (1989).
27. Texas Instruments. <http://www.ti.com/sc/docs/dsps/dcs/appnotes.htm> (1999).
28. Micro Mo Electronics. <http://www.micromo.com/index.html> (1999).
29. W.J. Hsueh and Y.J. Lee. *Trans. ASME* **116**(1): 43–48 (1994).
30. T. Kakinouchi, T. Asano, K. Tanida, and N. Takahashi. *Naval Eng. J.* **104**(3): 46–52 (1992).
31. C.R. Fuller, S.J. Elliott, and P.A. Nelson. *Active Control of Vibration*. Academic Press, New York, 1996.

32. S. Douglas and J. Olkin. *Proc. Recent Advances on Active Control*, 1993.
33. C.L. Morfey. *J. Sound Vib.* **1**: 60–87 (1964).
34. A. Bihhadi and Y. Gervais. *Acta-Acoustica* **2**: 343–357 (1994).
35. S. Laugesen. *J. Sound Vib.* **195**(1): 33–56 (1996).
36. A. L'Espérance, M. Bouchard, B. Paillard, C. Guigou, and A. Boudreau. *Appl. Acous.* **57**: 357–374 (1999).
37. A. L'Espérance, M. Bouchard, and B. Paillard. *Canadian Inst. Mining, Light Metal Sec. Metall. Soc.* **90**(1012): 94–99 (1997).
38. W.G. Culbreth, E.W. Hendricks, and R.J. Hansen. *J. Acous. Soc. Am.* **83**: 1306–1310 (1988).
39. R.L. Clark, J. Pan, and C.H. Hansen. *J. Vib. Acous.* **92**(2): 871–876 (1992).
40. Z.K. Lu and G.J. Weng, *Acta Mater.* **46**: 5423–5433 (1998).
41. M. Huang and L.C. Brinson, *J. Mech. Phys. Sol.* **46**: 1379–1409 (1998).
42. X. Gao, M. Huang, and L.C. Brinson, *Int. J. Plast.* **16**: 1345–1369 (2000).

43. P. Sittner, R. Stalmans, and M. Tokuda, *Smart Mater. Struct.* **9**: 452–465 (2000).
44. T.J. Lim and D.L. McDowell, *ASME J. Eng. Mater. Tech.* **121**: 9–18 (1999).
45. F. Falk, *Acta Metall.* **28**: 1773–1780 (1980).
46. Y. Huo, *Continuum Mech. Thermodyn.* **1**: 283–303 (1989).
47. J. Ortin, *J. Appl. Phys.* **71**: 1454–1461 (1992).
48. A.A. Likhacev and Y.N. Koval. *Scripta Metall. Mater.* **27**: 223–227 (1992).
49. Y. Ivshin and T.J. Pence, *Int. J. Eng. Sci.* **32**: 681–704 (1994).
50. B.D. Coleman and M.E. Gurtin, *J. Chem. Phys.* **47**: 597–613 (1967).
51. J. Zhang, J. Ensling, V. Ksenofontov, P. Gü tlich, A.J. Epstein, and J.S. Miller. *Angew. Chem. Int. Ed.* **37**: 657 (1998).
52. C.M. Wynn, M.A. Girtu, J. Zhang, J.S. Miller, and A.J. Epstein. *Phys. Rev. B* **58**: 8508 (1998).
53. M.A. Girtu, C.M. Wynn, J. Zhang, J.S. Miller, and A.J. Epstein. *Phys. Rev. B* **61**: 492 (2000).

54. V. Gadet, T. Mallah, I. Castro, and M. Verdaguer. *J. Am. Chem. Soc.* **114**: 9213 (1992).
55. W.D. Greibler and D. Babel. *Z. Naturforsch* **87b**: 832 (1982).
56. W.E. Buschmann, S.C. Paulson, C.M. Wynn, M. Girtu, A.J. Epstein, H.S. White, and J.S. Miller. *Adv. Mater.* **9**: 645 (1997).
Chem. Mater. **10**: 1386 (1998).
57. S. Ferlay, T. Mallah, R. Ouahes, P. Veillet, and M. Verdaguer, *Nature* **378**: 701 (1995).
58. (a) O. Hatlevik, W.E. Buschmann, J. Zhang, J.L. Manson, and J.S. Miller. *Adv. Mater.* **11**: 914 (1999). (b) Holmes and S.D. Girolami. *G. J. Am. Chem. Soc.* **121**: 5593 (1999).
59. O. Sato, T. Iyoda, A. Fujishima, and K. Hashimoto. *Science* **272**: 704 (1996).
60. D.A. Pejakovic, J.L. Manson, J.S. Miller, and A.J. Epstein. *J. Appl. Phys.* **87**: 6028 (2000).
61. Πτυχιακή Εργασία Καλογρίδη Ζαμπιας και Μέγα Θεοδώρα(ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΑΣ 2006): «ΕΥΦΥΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ»
62. Σεμινάριο Ιδρύματος Τεχνολογίας & Έρευνας
63. Διπλωματική Εργασία Αθανασιάδη Χαράλαμπου(ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ-ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ-2008): «ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ»
64. Αθηνά Σταυρίδου : ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ & ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ

65. Διατριβή Ειδίκευσης στην Επιστήμη των Υλικών του Πετάλη Παντελή(ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΑΣ-ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ-2007): «*ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΜΝΗΜΗ ΣΧΗΜΑΤΟΣ:ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΣΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ* »

66. Smart Materials for the 21STCentury by Foresight Materials Taskforce(IOM3)

67. Smart materials and new Technologiew by Michelle Addington and Daniel Shodek(ELSEVIER-2005)

68.ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ

69.ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ

70.NEW SCIENTIST

71. www.auto24.gr

72. www.wikipedia.gr