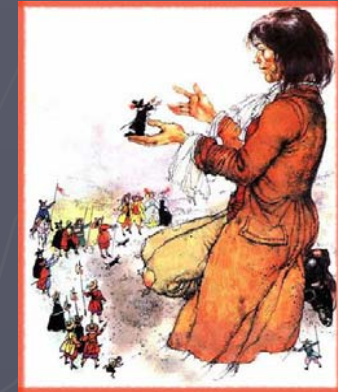




Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Φυσικής

Όταν οι αντιστάσεις γιγαντώνονται

Μάκης Αγγελακέρης, Λέκτορας
Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης
Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ



19/2/2008, 20:15, Αστεροσκοπείο

Κύκλος ενημερωτικών διαλέξεων για τους Φοιτητές και Φοιτήτριες με τίτλο:
« Έρευνα στο Τμήμα Φυσικής»

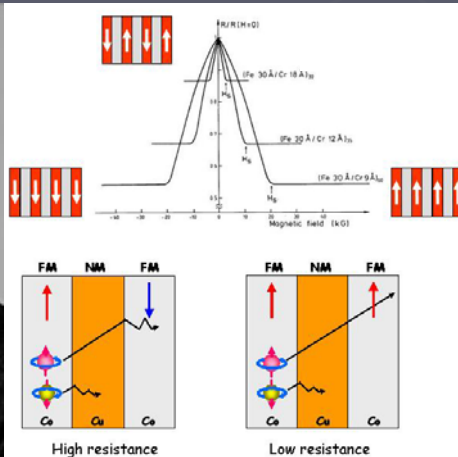


The Nobel Prize in Physics 2007

"for the discovery of Giant Magnetoresistance"



Albert Fert
Université Paris-Sud;
CNRS/THALES
Orsay, France



Peter Grünberg
Forschungszentrum
Jülich
Jülich, Germany

GMR



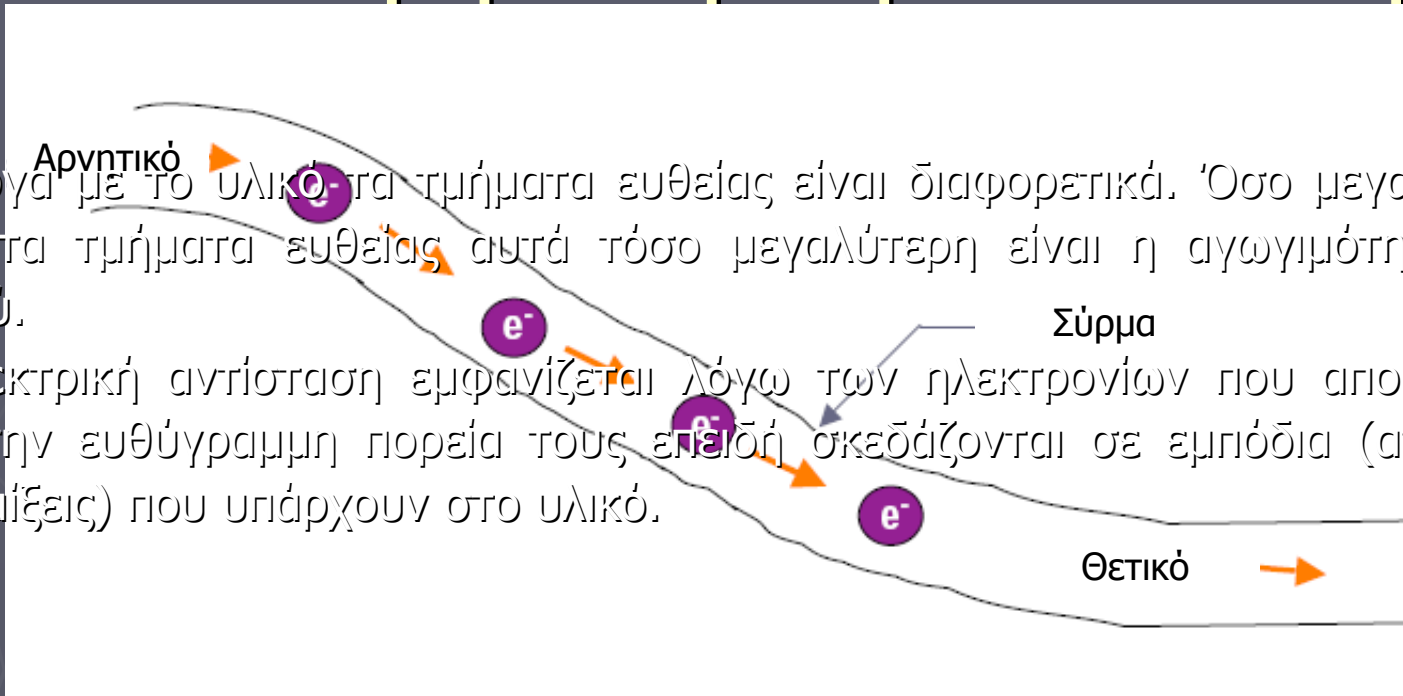
Περιεχόμενα

- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- Τεχνολογία με άλματα
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;

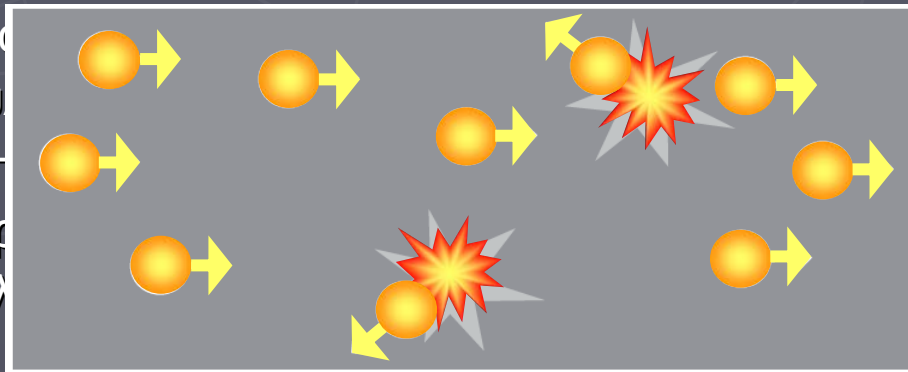
Έτος	Φαινόμενο	Ερμηνεία	Εφαρμογή
1842	Φαινόμενο Joule	Μεταβολή του σχήματος σιδηρομαγνητικού σώματος λόγω μαγνήτισης	Σε συνδυασμό με πιεζοηλεκτρικά στοιχεία σε μαγνητόμετρα και ποτενσιόμετρα
1846	Φαινόμενο ΔΕ	Μεταβολή του μέτρου του Young λόγω μαγνήτισης	Συστήματα ακουστικής καθυστέρησης γραμμής για μέτρηση μαγνητικού πεδίου
1847	Φαινόμενο Matteucci	Η ροπή σιδηρομαγνητικής ράβδου σε επιμήκες πεδίο μεταβάλλει τη μαγνήτιση	Μαγνητοελαστικοί αισθητήρες
1856	Μαγνητοαντίσταση (Φαινόμενο Thomson)	Μεταβολής της αντίστασης με το μαγνητικό πεδίο	Αισθητήρες Μαγνητοαντίστασης
1858	Φαινόμενο Wiedemann	Εμφάνιση ροπής σε σιδηρομαγνητική ράβδο που διαρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκεται σε επιμήκες πεδίο	Μετρήσεις ροπής και δύναμης
1865	Φαινόμενο Villari	Επίδραση στη μαγνήτιση λόγω εκτατής ή συμπιεστικής δύναμης	Μαγνητοελαστικοί αισθητήρες
1879	Φαινόμενο Hall	Ρεύμα που διαρρέει κρύσταλλο παράγει εγκάρσια τάση όταν ο κρύσταλλος βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο κάθετο στην επιφάνεια του	Γαλβανομαγνητικοί αισθητήρες
1903	Φαινόμενο Skin	Μετατόπιση του ρεύματος από το εσωτερικό ενός υλικού στην επιφάνεια λόγω ρευμάτων Eddy	Αισθητήρες απόστασης, Αισθητήρες προσέγγισης
1931	Φαινόμενο Sixtus Tonks	Παλμική μαγνήτιση λόγω μεγάλων αλμάτων Barkhausen	Αισθητήρες Wiegand, παλμικού σύρματος
1962	Φαινόμενο Josephson	Κβαντικό φαινόμενο σήραγγος μεταξύ δύο υπεραγωγίων υλικών διαχωρισμένων από ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα	Μαγνητόμετρα SQUID

Τι είναι η ηλεκτρική αντίσταση;

- Ανάλογα με το υλικό, τα τμήματα ευθείας είναι διαφορετικά. Όσο μεγαλύτερα είναι τα τμήματα ευθείας, αυτά τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα του υλικού.
- Η ηλεκτρική αντίσταση εμφανίζεται λόγω των ηλεκτρονίων που αποκλίνουν από την ευθύγραμμη πορεία τους, επειδή σκεοιάζονται σε εμπόδια (ατέλειες, προσμίξεις) που υπάρχουν στο υλικό.



- Σε ένα μεταλλικό σύρμα, τα ηλεκτρόνια κινούνται ελεύθερα μέσα στον όγκο του υλικού.
- Οι αγωγοί επιτρέπει τα ηλεκτρόνια να κινούνται ελεύθερα μέσα στον όγκο του υλικού, αλλά σε χρονικά διαστήματα ανεμπόδιστα δηλαδή συγκρούονται με τα εμπόδια.



Τι είναι η μαγνητοαντίσταση;

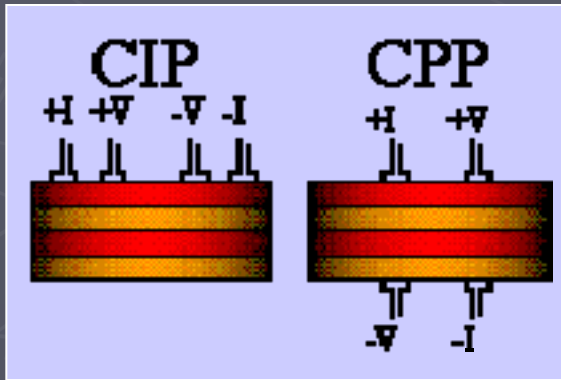
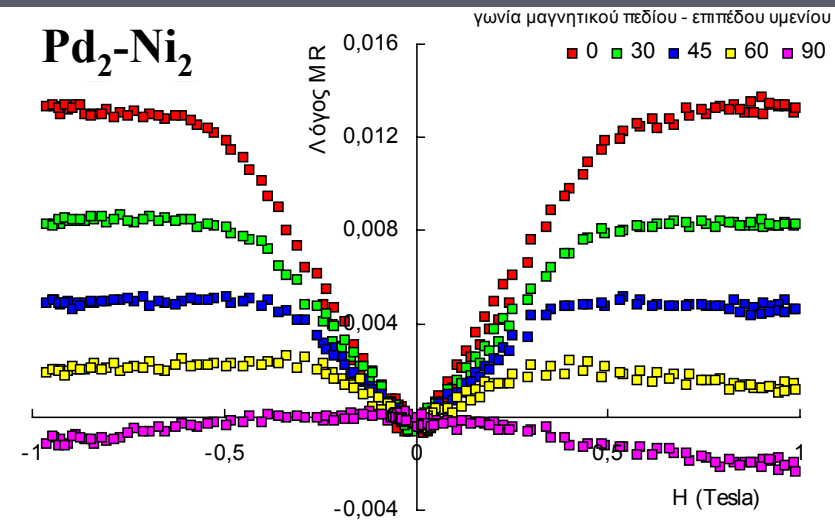
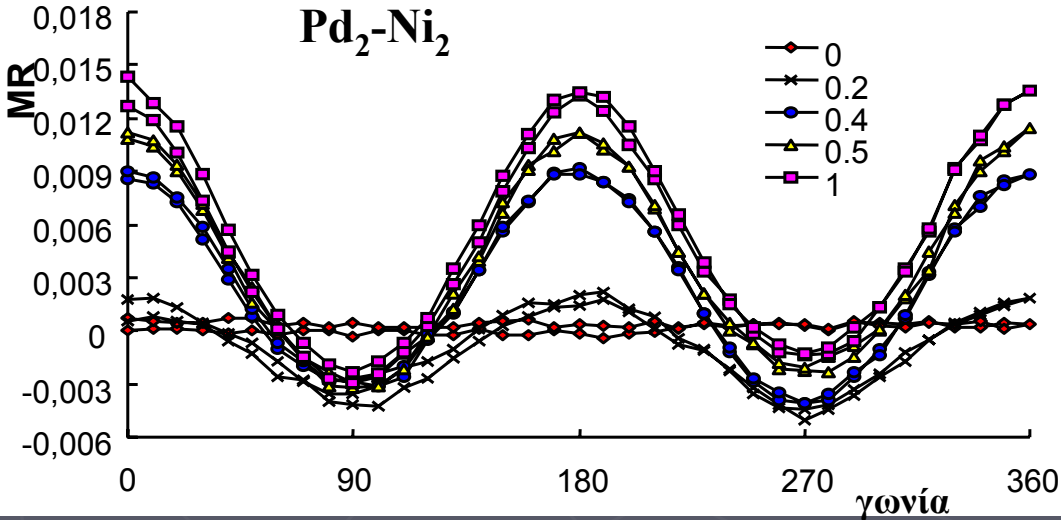
- Το φαινόμενο της μαγνητοαντίστασης (MR) είναι η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού (αγωγού) όταν αυτό τοποθετείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο.
- Στην περίπτωση των κλασικών σιδηρομαγνητικών υλικών (Ni, Co και Fe) εξαρτάται επίσης και από τη σχετική διεύθυνση ηλεκτρικού ρεύματος και εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.
- Το 1857 ο W. Thomson (γνωστότερος ως Lord Kelvin) μέτρησε την ηλεκτρική απόκριση σε υλικά όπως το Ni και ο Fe παρουσία μαγνητικού πεδίου και διαπίστωσε:



“I found that iron, when subjected to a magnetic force, acquires an increase of resistance to the conduction of electricity along, and a diminution of resistance to the conduction of electricity across, the lines of magnetization”

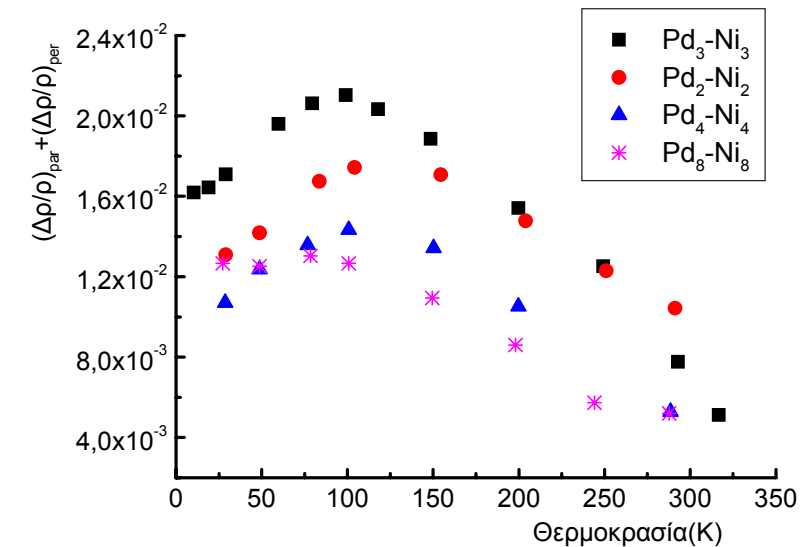
- Η διαφορά στην ηλεκτρική απόκριση μεταξύ της παράλληλης και της κάθετης γεωμετρίας μέτρησης ορίζει στην ουσία την ανισοτροπική μαγνητοαντίσταση (AMR).
- Η ιδιότητα αυτή εμφανίζεται σε πλήθος μαγνητικών υλικών αλλά το μέγεθος της δεν μπορούσε να ξεπεράσει σε καμία περίπτωση τις μερικές ποσοστιαίες μονάδες (<4%).

Ανισοτροπική Μαγνητοαντίσταση



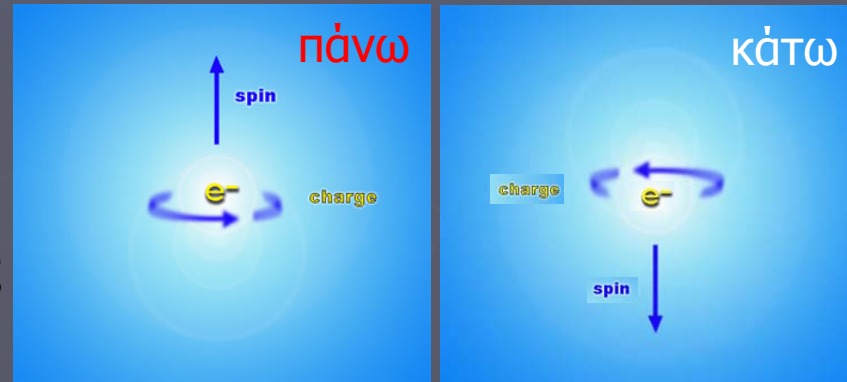
$$\Delta\rho/\rho\% = [\rho(H, T) - \rho(H_s, T)] / \rho(H_s, T)$$

$$\Delta\rho/\rho\% = [\rho(0, T) - \rho(0, T)] / \rho(0, T)$$

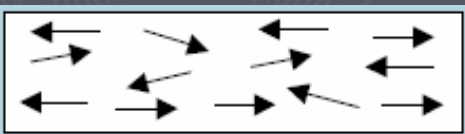


Μαγνητικά υλικά και Ηλεκτρική Αντίσταση

Η συσχέτιση μεταξύ μαγνήτισης και ηλεκτρικής αντίστασης οφείλεται στην περιστροφή του ηλεκτρονίου γύρω από τον εαυτό του. Η περιστροφή αυτή είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση μαγνητικής ροπής-το λεγόμενο spin- που μπορεί να πάρει μόνο δύο μεταξύ τους αντιπαράλληλες διευθύνσεις.

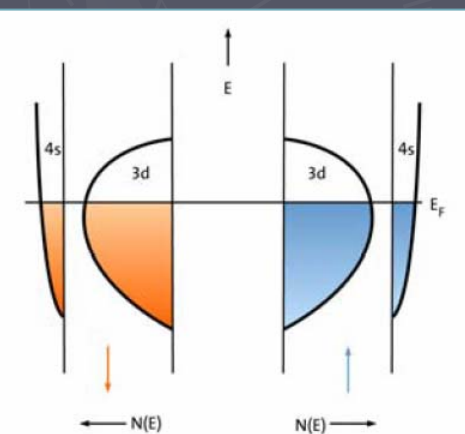
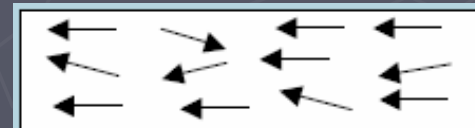


Σε ένα μαγνητικό υλικό τα περισσότερα spins κοιτάνε προς την ίδια κατεύθυνση ενώ ένας μικρός αριθμός spins κοιτάνε προς την αντίθετη κατεύθυνση.

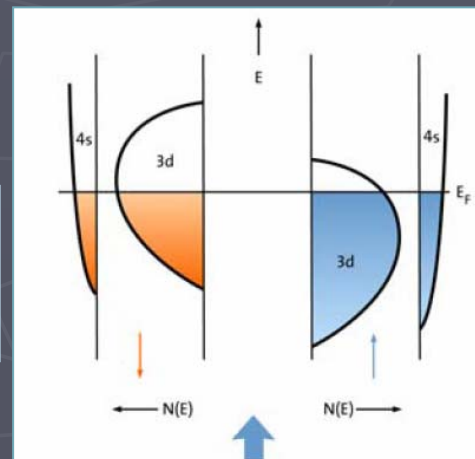


$$P = (N_{\uparrow} - N_{\downarrow}) / (N_{\uparrow} + N_{\downarrow})$$

Σε ένα μη μαγνητικό υλικό οι δύο πληθυσμοί spins είναι ίσοι και εξουδετερώνονται ($P=0$)

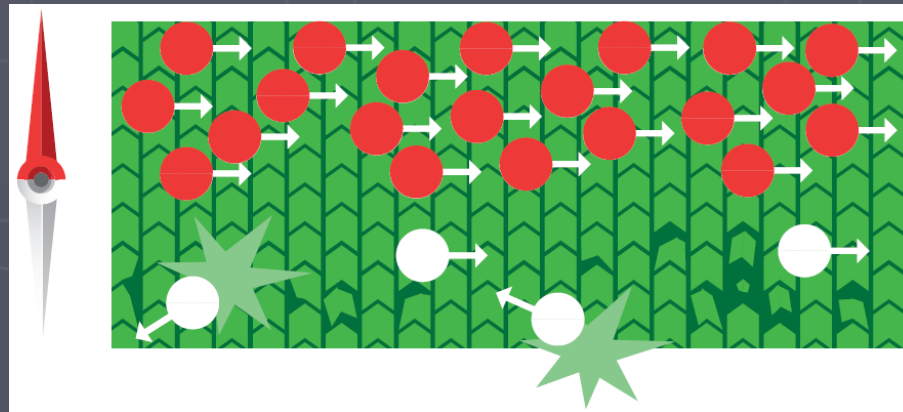


Σε ένα μαγνητικό υλικό οι δύο πληθυσμοί spins δεν είναι ίσοι και υπάρχει προτιμητέα διεύθυνση ($P \neq 0$)



Μαγνητικά υλικά και Ηλεκτρική Αντίσταση

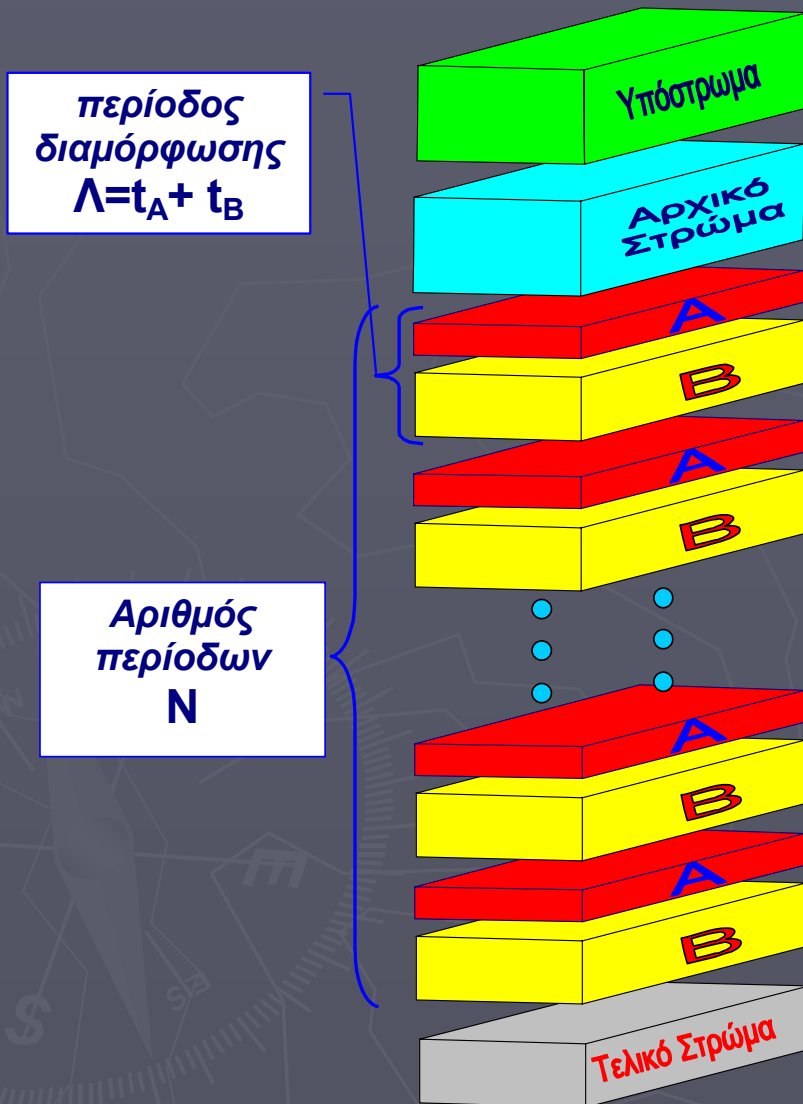
- Αυτή η διαφορά πληθυσμών στους δύο τύπους ηλεκτρονίων είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση μαγνήτισης και για το διαφορετικό βαθμό σκέδασης σε κάθε μορφής εμπόδιο:
 - ατέλειες
 - προσμίξεις
 - ενδοεπιφάνειες
- Οι ιδιότητες του υλικού καθορίζουν ποιος τύπος ηλεκτρονίων θα σκεδαστεί περισσότερο.
- Στα μαγνητικά υλικά η σκέδαση των ηλεκτρονίων εξαρτάται από την κατεύθυνση της μαγνήτισης.



Περιεχόμενα

- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- Τεχνολογία με άλματα
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;

Μαγνητικές νανοδομές



Πολυστρωματικά Υμένια

- οποιοσδήποτε συνδυασμός υλικών;
- 1 μαγνητικό συστατικό
- διαμόρφωση χαρακτηριστικών
- τεχνολογικές εφαρμογές

Νέες ιδιότητες

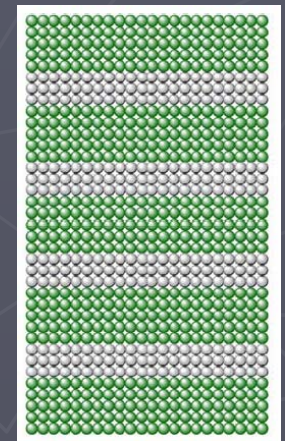
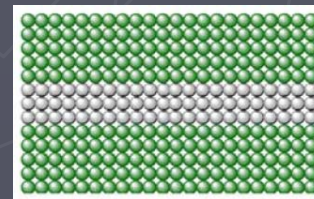
Λεπτά υμένια



10-1000 nm

πολυστρωματικός χαρακτήρας

φαινόμενα γειτονίας

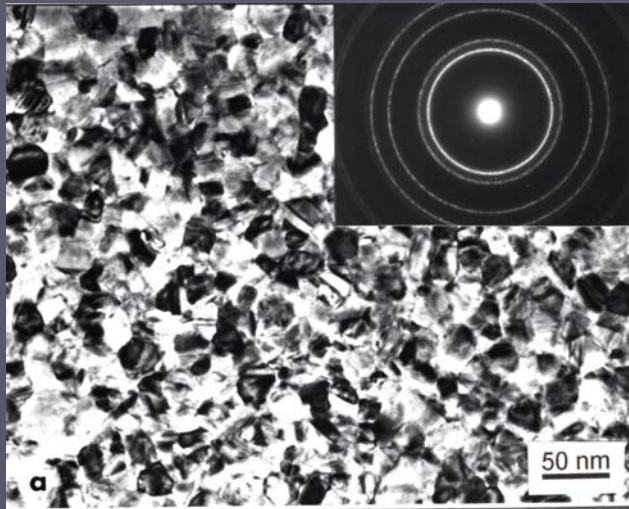


Πολυστρωματικά υμένια

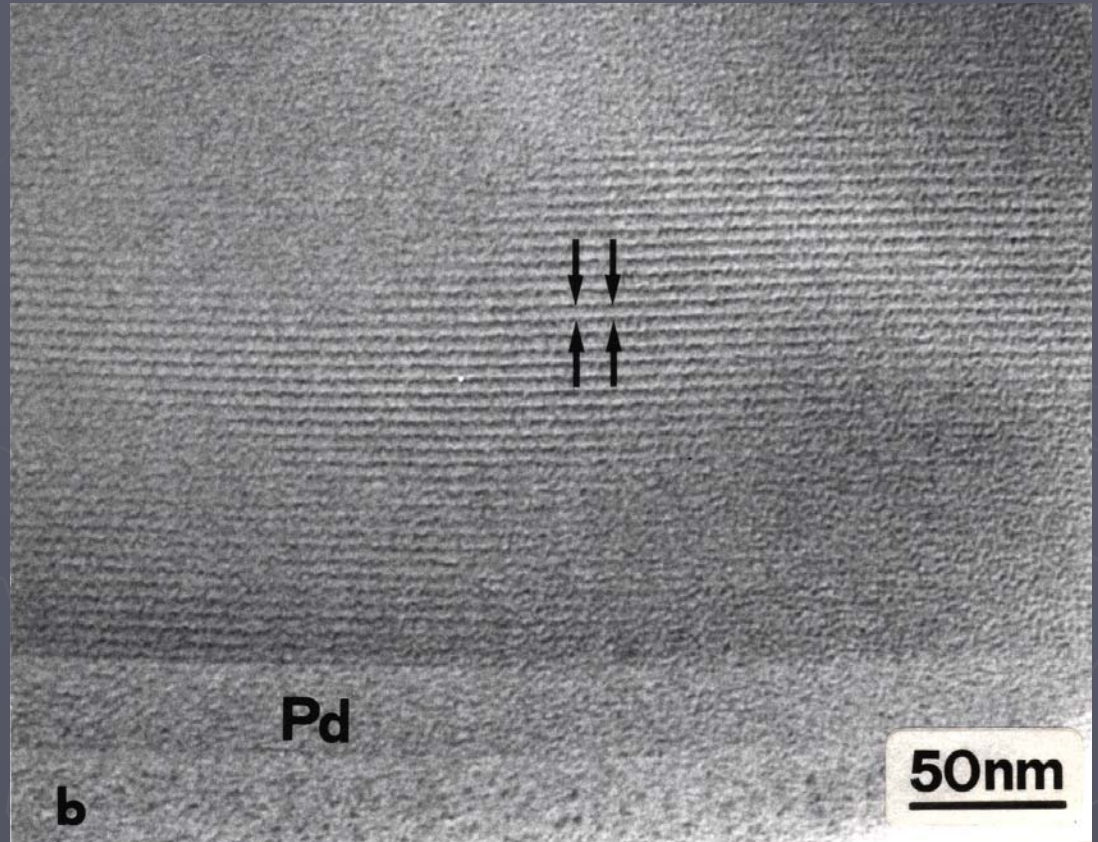
- ✓ **1923** – ηλεκτρολυτική απόθεση Cd & Ag-*Koeppe*
- ✓ **1935** – διαμορφωμένες δομές Cu & Au-*Dumont, Youtz*
- ✓ **1955** – πολυστρωματικά υμένια Ni, Fe, *Blois*
- ✓ **1964** – πολυστρωματικά υμένια Cu-Ni, *Hirsch, Friedman, Elizer*

- *φράγματα περιθλάσεως*
- *μέτρηση συντελεστών αλληλοδιάχυσης*
- *μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων*
- *διαμόρφωση συνεκτικού πεδίου*

Μαγνητικές νανοδομές



*Πολυστρωματικά υμένια
Pd-CoPd
που αναπτύχθηκαν και
μελετήθηκαν
στο Τμήμα Φυσικής ΑΠΘ*

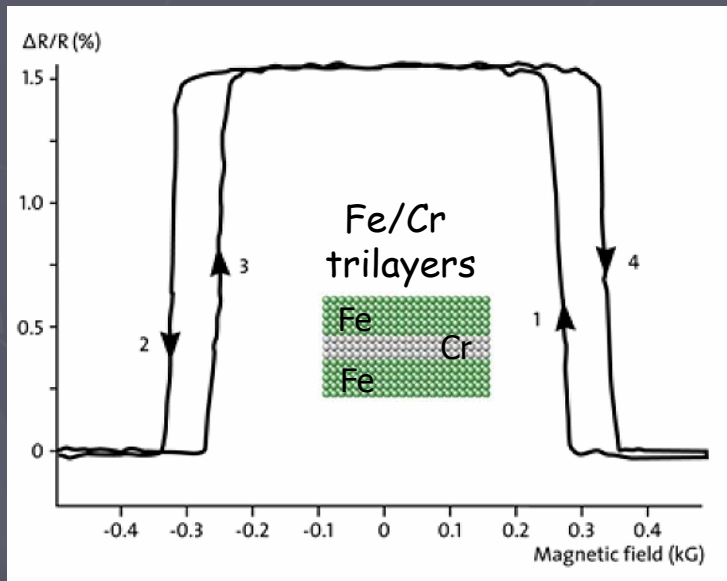


Περιεχόμενα

- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- Τεχνολογία με άλματα
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;

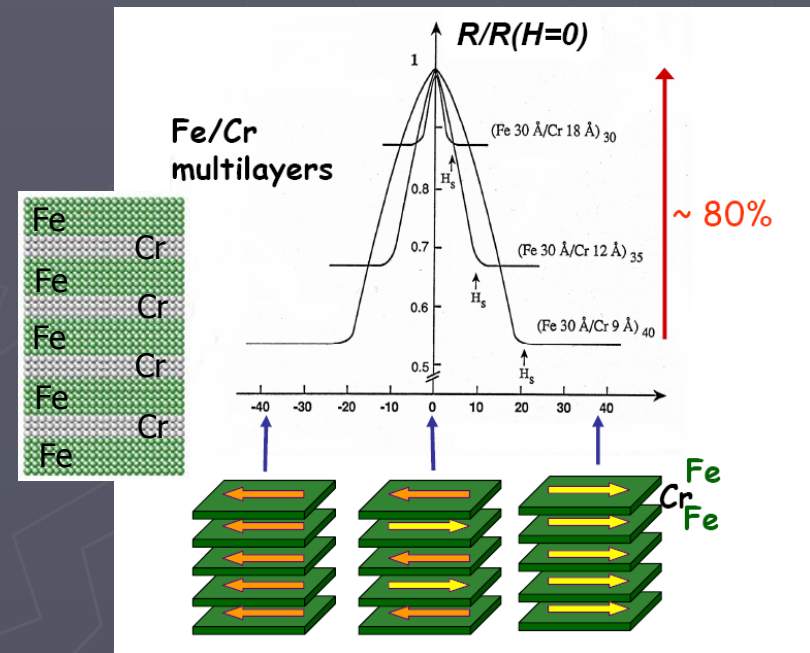
Οι δύο πρώτες δημοσιεύσεις

Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange



*G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach and W. Zinn
Phys. Rev. B **39**, 4828 (1989)*

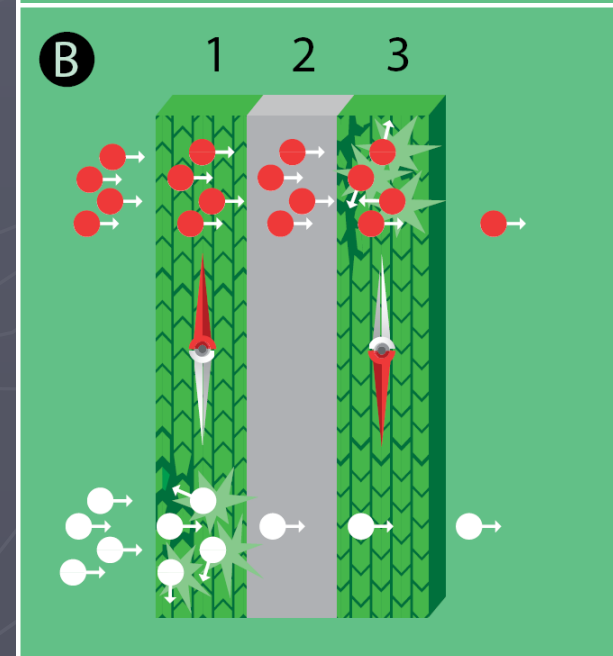
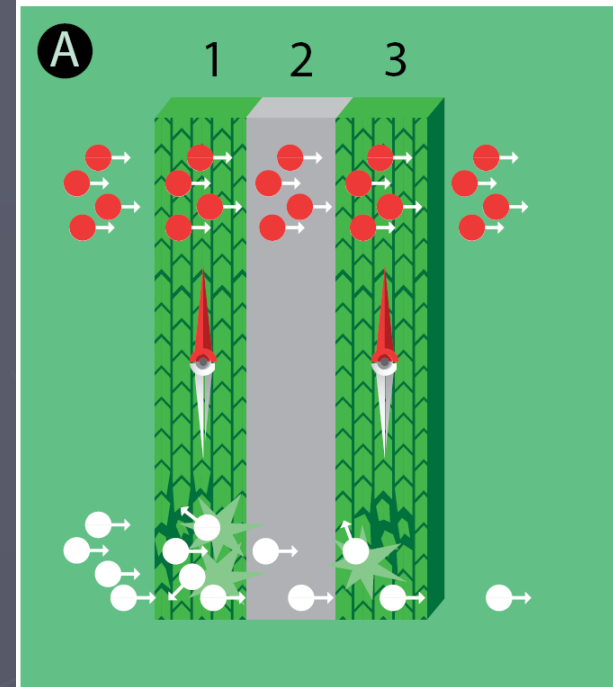
Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices



*M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F. Nguyen van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas,
Phys. Rev. Lett. **61**, 2472 (1988)*

Γιατί εμφανίζεται η GMR;

- Ένα μη μαγνητικό στρώμα (γκρι) περικλείεται από δύο μαγνητικά στρώματα (πράσινο) με παράλληλη (A) και αντιπαράλληλη ευθυγράμμιση των μαγνητικών τους ροπών.
- Ηλεκτρόνια με διαφορετικό σπιν (κόκκινα-άσπρα) επιχειρούν να περάσουν τη τριστρωματική διάταξη.
- Μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων σκεδάζεται στην δεύτερη περίπτωση όπου τα δύο στρώματα έχουν αντιπαράλληλες μαγνητικές ροπές οδηγώντας σε μεγαλύτερες τιμές αντίστασης.

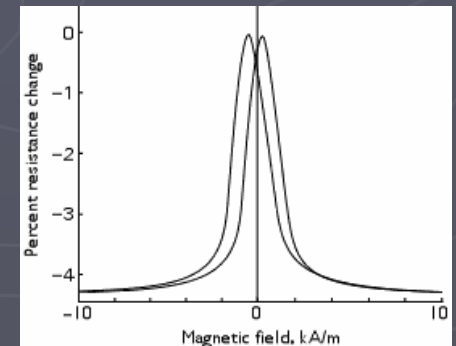
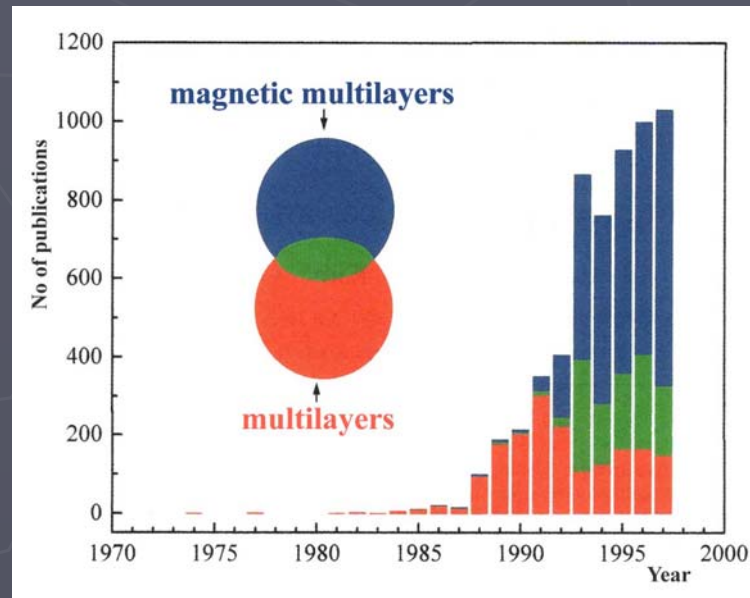
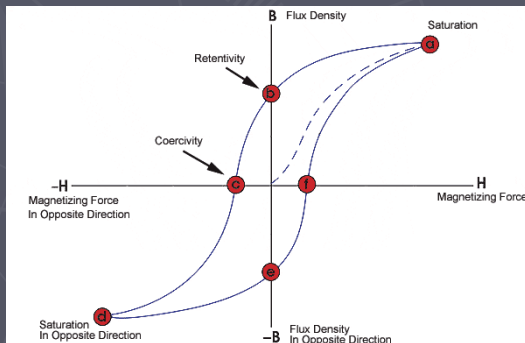


Περιεχόμενα

- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- Τεχνολογία με άλματα
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;

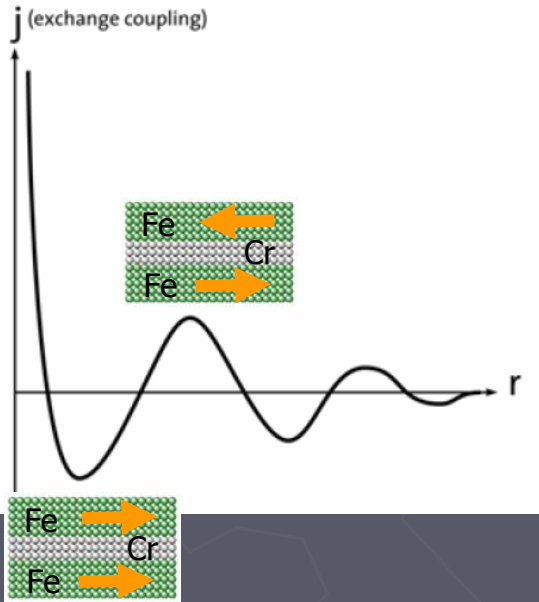
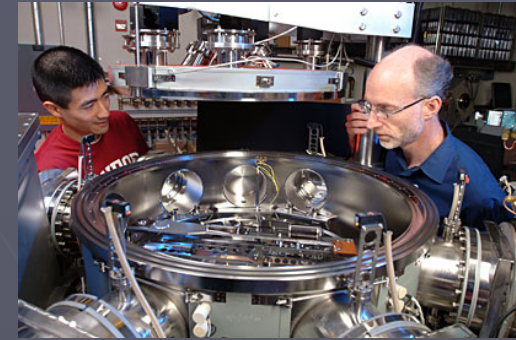
Παρόν & Μέλλον

- ✓ 1978 – ενισχυμένη μαγνήτιση σε Cu-Ni
- ✓ 1985 – κάθετη ανισοτροπία σε Pd-Co
- ✓ 1986 – διαστρωματική σύζευξη σε Fe-Cr-Fe (*P. Grunberg*)
- ✓ 1988 – γιγαντιαία μαγνητοαντίσταση σε Fe-Cr (*A. Fert, P. Grunberg*)
- ✓ 1990 – ταλαντώσεις της διαστρωματικής σύζευξης (*S. Parkin*)



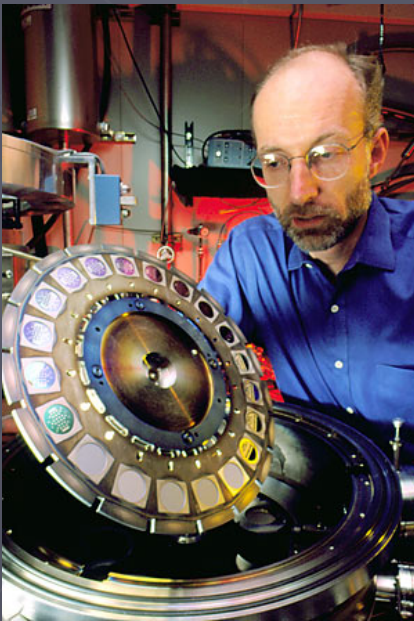
Ο ρόλος της IBM

Ας σημειωθεί ότι το αξιοθαύμαστο είναι ότι μπορεί κανείς να επιτύχει πραγματικά γιγαντιαίες μεταβολές της μαγνητοαντίστασης απλά αλλάζοντας τα πάχη των στρωμάτων των δύο υλικών.

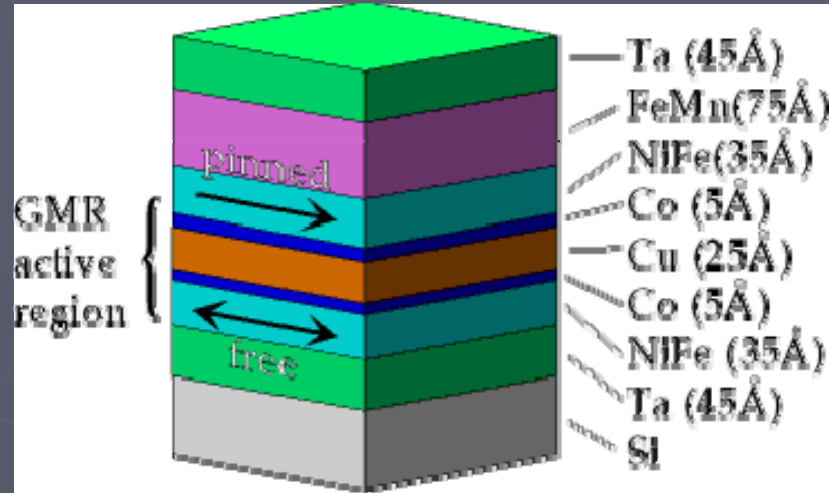


Fe/Cr, Co/Cu, Co/Ag, Co/Au

Μετά από λεπτομερείς ελέγχους από πολλές επιστημονικές ομάδες σε όλο τον κόσμο (στα ερευνητικά εργαστήρια της IBM η ομάδα του **St. Parkin** εξέτασε περισσότερα από 30,000 διαφορετικά πολυστρωματικά υμένια!) μπορεί κανείς να επαληθεύσει με βεβαιότητα τη γενικότητα της GMR ως φαινόμενο αλλά και της σύνδεσης της με τη διαστρωματική σύζευξη.



Ο ρόλος της IBM



Οι βαλβίδες του σπιν αποτελούνται από τέσσερα στρώματα

Free layer – Ελεύθερο στρώμα: Αυτό είναι το στρώμα που ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο των μαγνητικών bits. Το στρώμα αυτό μπορεί να στρέφει τη μαγνήτιση του ανάλογα με το μαγνητικό πεδίο των μαγνητικών bits.

Spacer – Διαχωριστικό στρώμα: Συνήθως από Cu, ενδιάμεσα στο ελεύθερο και το πολωμένο στρώμα.

Pinned layer – Πολωμένο Στρώμα: Το στρώμα αυτό είναι από Co και έχει σταθερή κατεύθυνση μαγνήτισης εξαιτίας του στρώματος ανταλλαγής.

Exchange layer – Στρώμα ανταλλαγής: Ένα στρώμα από αντισιδηρομαγνητικό υλικό που πολώνει κατάλληλα τη μαγνήτιση του πολωμένου στρώματος.



Κατασκευή αισθητήρα GMR

Ο αισθητήρας αυτός κατασκευάστηκε στο πλαίσιο Ελληνικού Ερευνητικού προγράμματος συνεργασίας

(ΕΠΕΤ ΙΙ: 1995-1998)

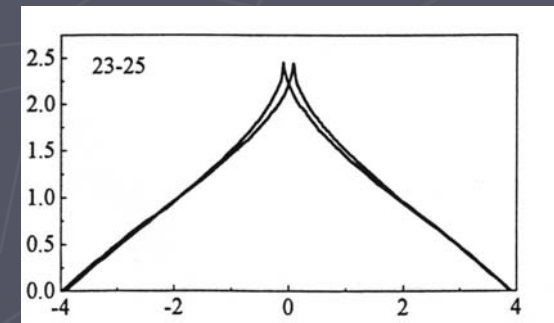
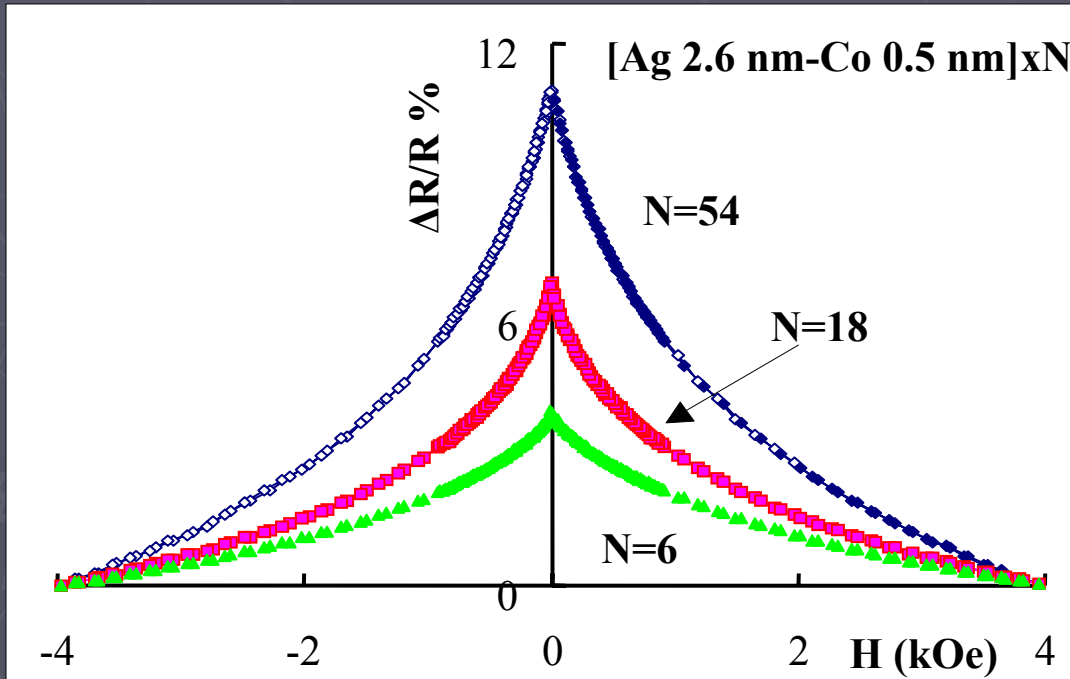
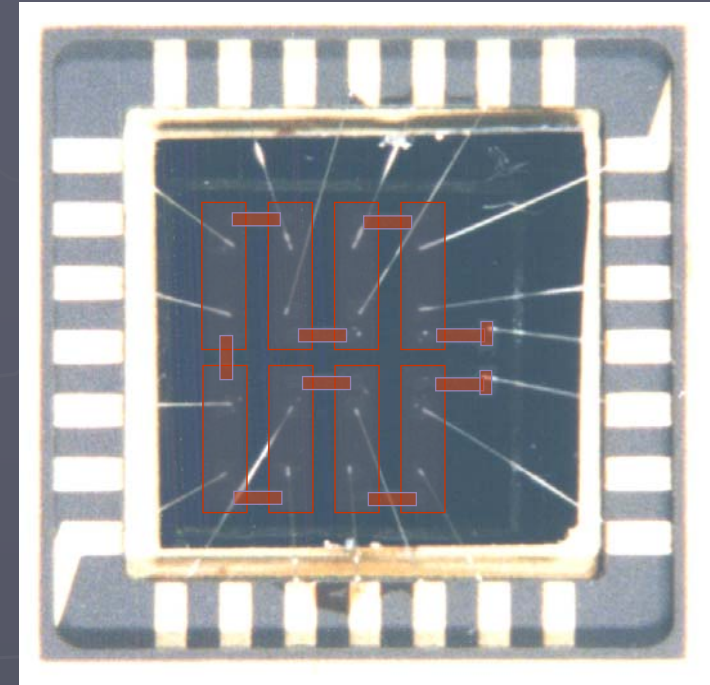
στο οποίο συμμετείχαν 4 φορείς:

ΙΕΥ, ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», Δ. Νιάρχος

Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ, Ν.Κ. Φλεβάρης

ΙΜΗ, ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», Α. Νασσιοπούλου

Σ&Μ Χουρδάκης-Εταιρία



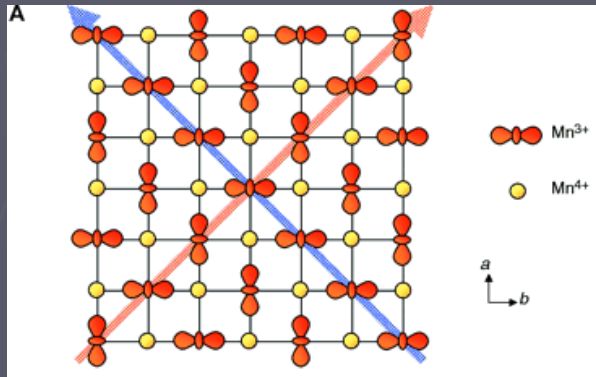
GMR @ RT 2.5% / 4 kOe

Μ. Αγγελακέρης, Διδακτορική Διατριβή

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ για όλα τα γούστα

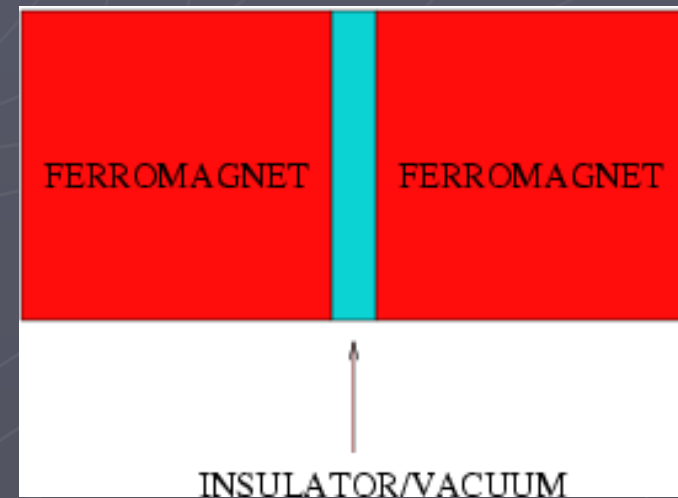
Κολοσσιαία Μαγνητοαντίσταση (*CMR – Colossal MagnetoResistance*)

που εμφανίζεται σε κάποια οξειδία μαγγανίου. Η εφαρμογή εξωτερικού μαγνητικού πεδίου αυξάνει τη σιδηρομαγνητική τάξη, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα των παραπάνω μεταπτώσεων και ελαττώνοντας την αντίσταση μέχρι και 300%. Το φαινόμενο ενισχύεται στην περιοχή της θερμοκρασίας Curie και ονομάζεται κολοσσιαία μαγνητοαντίσταση.



Μαγνητοαντίσταση Σήραγγος (*TMR - Tunnel MagnetoResistance*)

που εμφανίζεται όταν δύο σιδηρομαγνητικές στρώσεις (ηλεκτρόδια) διαχωρίζονται από λεπτό διηλεκτρικό στρώμα (φράγμα). Ανάλογα με τη σύζευξη των ηλεκτροδίων το φαινόμενο εμφανίζεται σε διαφορετικές καταστάσεις spin. Κατά συνέπεια καθώς το εξωτερικό πεδίο αλλάζει πρόσημο, εμφανίζεται μαγνητοαντίσταση σήραγγος.

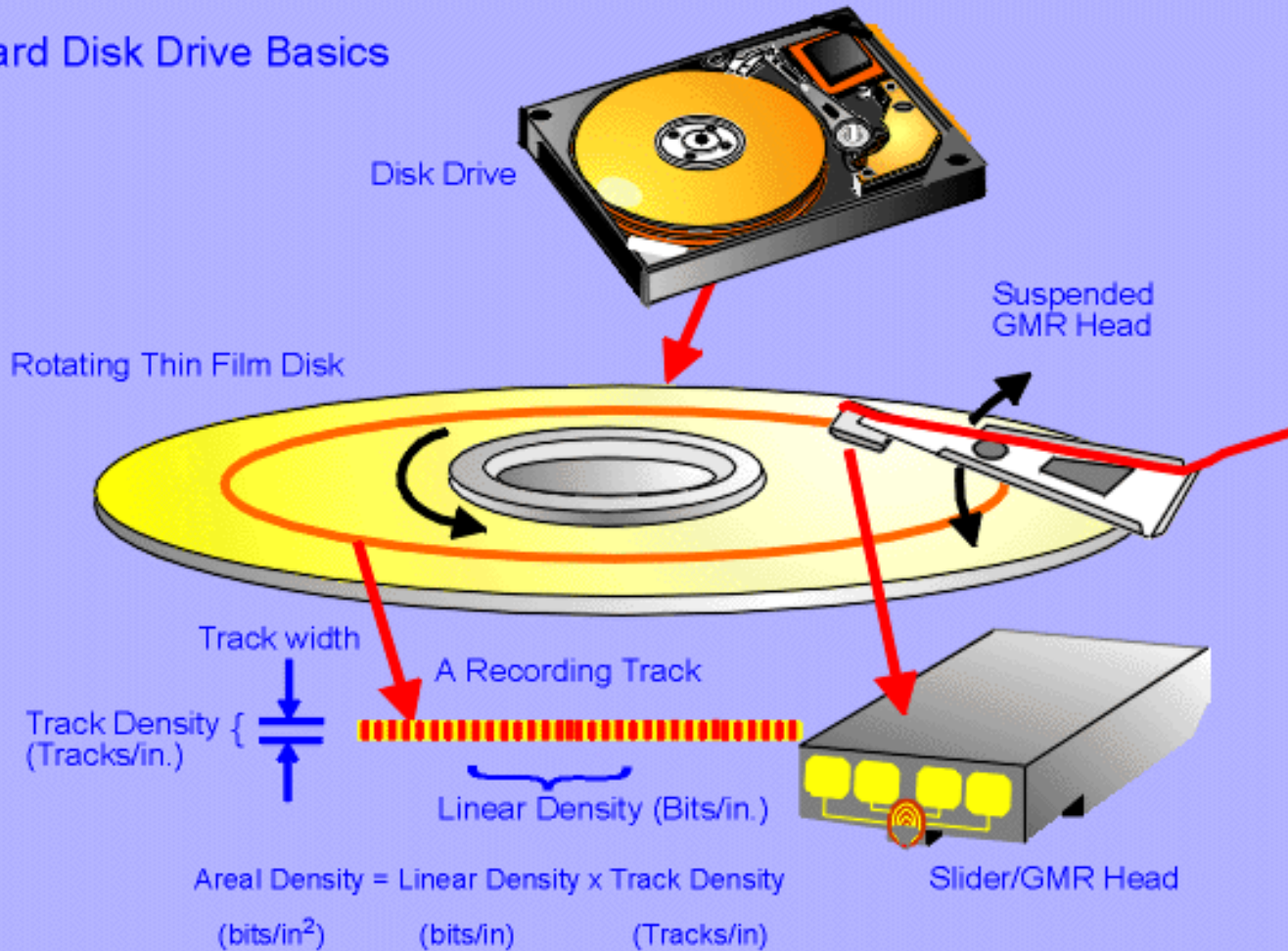


Περιεχόμενα

- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- Τεχνολογία με άλματα
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;

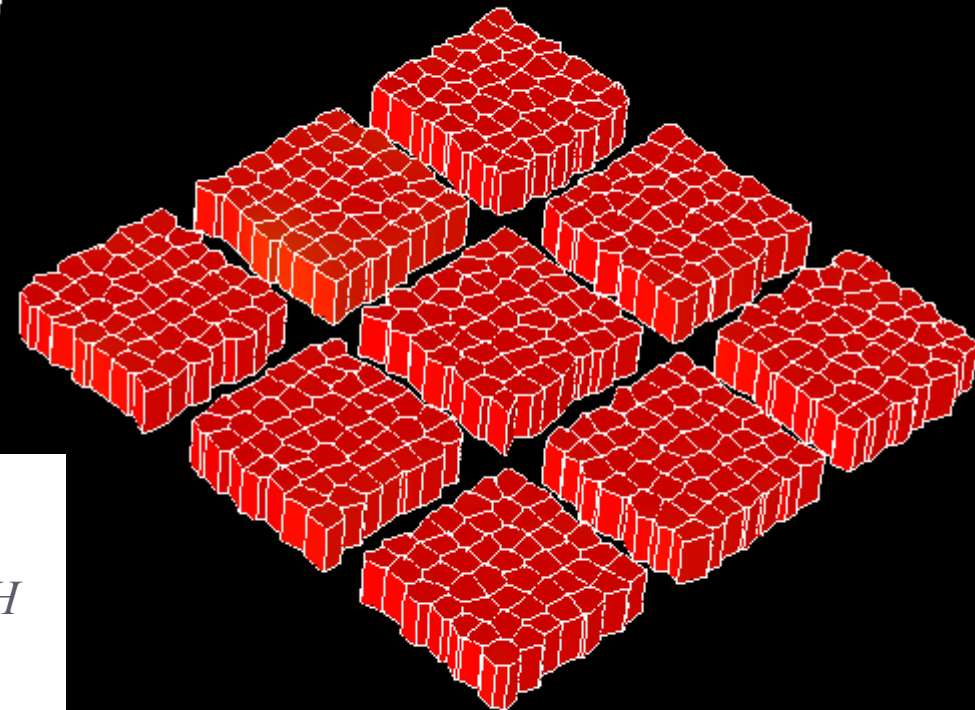
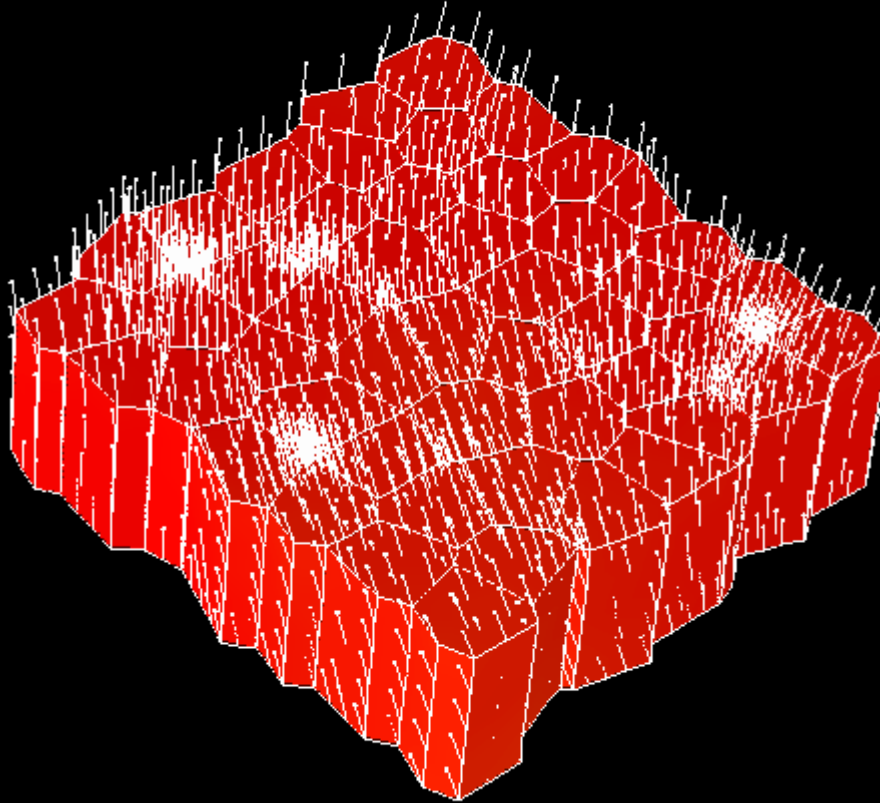
Αρχή Λειτουργίας Σκληρού Δίσκου

Hard Disk Drive Basics



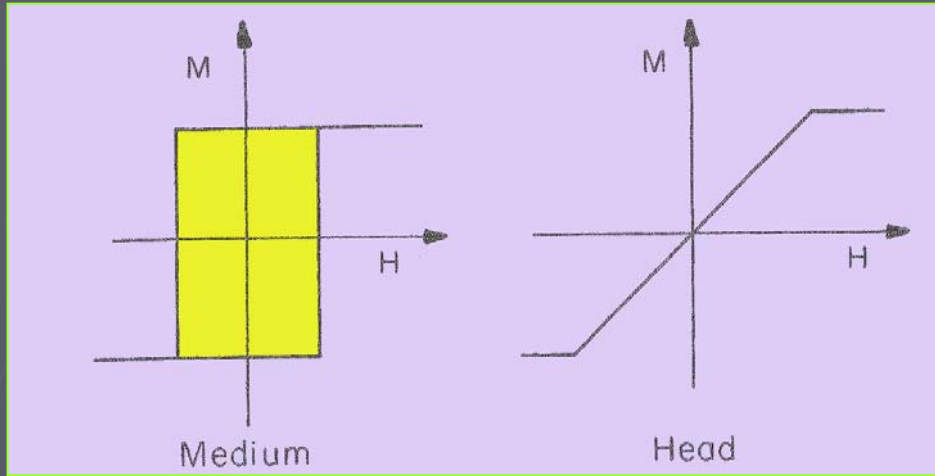
IBM Advanced Technology

Διαδοχική αντιστροφή διατεταγμένων μαγνητικών περιοχών υπό χρονικά αυξανόμενο μαγνητικό πεδίο. Οι μαγνητοστατικές αλληλεπιδράσεις αλλά και η μη αρχική ευθυγράμμιση των αξόνων ανισοτροπίας οδηγούν σε μια διασπορά των τιμών του πεδίου αντιστροφής των διακεκριμένων νησίδων.



Αντιστροφή της μαγνήτισης σε μια μαγνητική περιοχή (bit) αποτελούμενη από 49 κόκκους. Η διαδικασία αντιστροφής επηρεάζεται από την γυρομαγνητική κλόνηση και τις κινήσεις των τοιχωμάτων των μαγνητικών περιοχών.

Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά



Μαγνητικό μέσο

διακριτά σωματίδια μιας περιοχής

2 καταστάσεις, $M_{rem} \gg$

$H_c \ll H_s$ write (500-3000 Oe)

Μαγνητική κεφαλή ανάγνωσης

$H_c \ll$, χαμηλός θόρυβος

Μεγάλη μαγνητική επειδικτικότητα

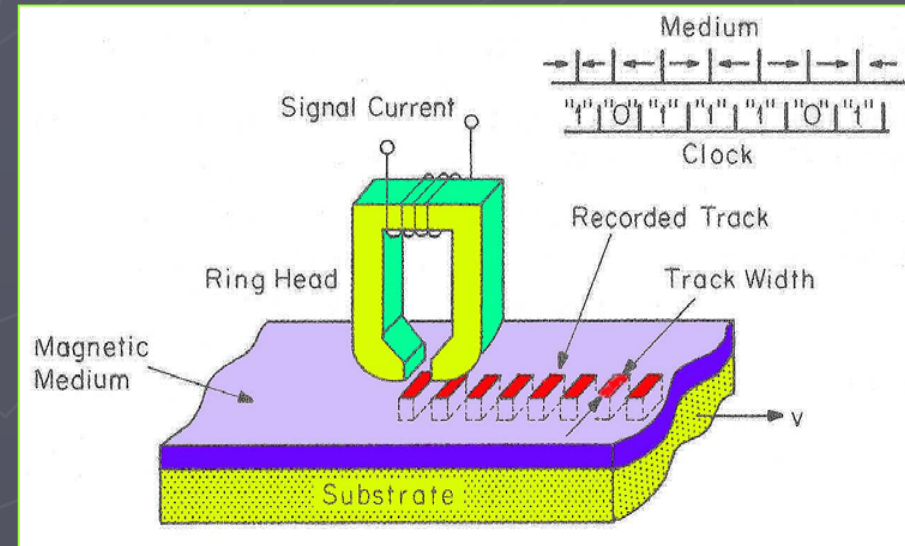
Μαγνητική κεφαλή εγγραφής

Κόρος με ελάχιστο ρεύμα

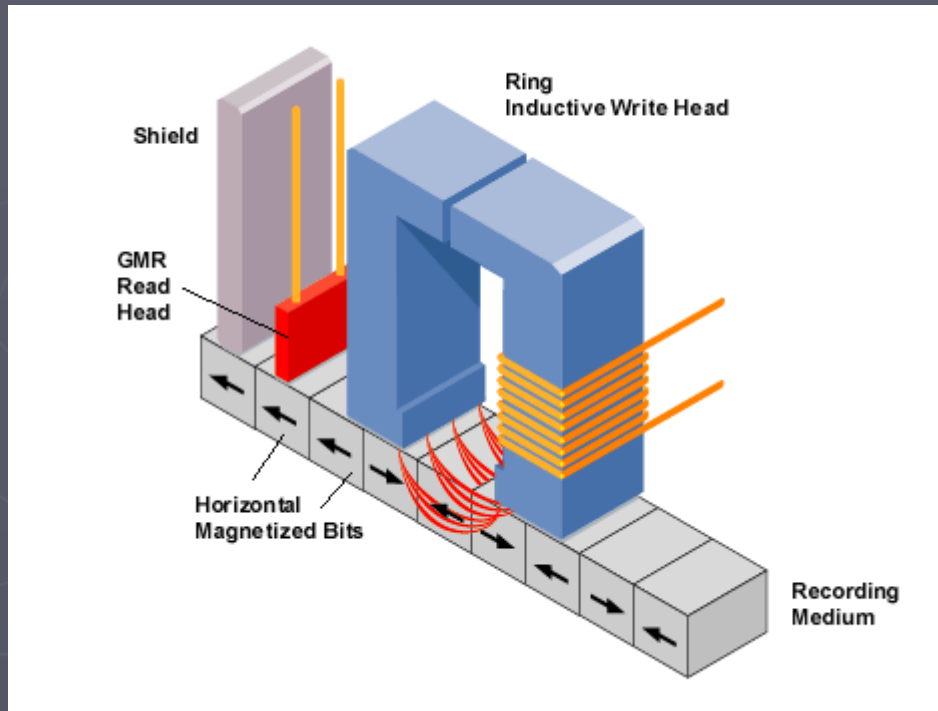
$M_s > M_s$ μέσου $Ni_{81}Fe_{19}$

Μαγνητική εγγραφή

- Κίνηση μαγνητικού μέσου
- Ηλεκτρομαγνήτης
- Πολικότητα ρεύματος



Ο πρώτος σκληρός δίσκος με GMR

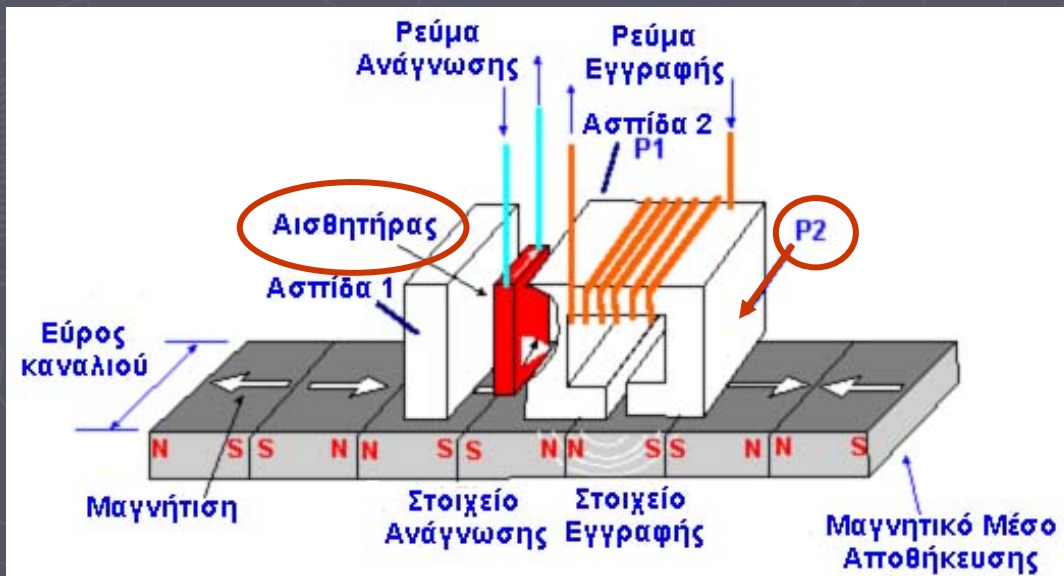


Το Δεκέμβριο του 1997 η εταιρεία IBM ανακοινώνει ένα νέο προϊόν:

τον 1^ο σκληρό δίσκο (16.8 Gbyte 3.5-inch, επιφανειακή πυκνότητα: 2.69 Gbits/in²) υπολογιστή όπου η ογκώδης κεφαλή ανάγνωσης-εγγραφής έχει αντικατασταθεί από δύο ανεξάρτητα στοιχεία: 1 στοιχείο εγγραφής με την κλασσική επαγωγική τεχνική και 1 στοιχείο ανάγνωσης με την τεχνική GMR, όπου χρησιμοποιείται μια βαλβίδα σπιν.

Αρχή λειτουργίας κεφαλής GMR

- Κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης πληροφορίας, η αλλαγή κατεύθυνσης ή η αντιστροφή μαγνητικής ροής από bit σε bit συνεπάγεται αλλαγή κατεύθυνσης της μαγνήτισης που βλέπει ο αισθητήρας. Κατά συνέπεια αλλάζει η αντίστασή του.
- Το μετρήσιμο μέγεθος είναι η τάση στην έξοδο του αισθητήρα που προκύπτει ως το γινόμενο της αντίστασής του με το ρεύμα ανάγνωσης.
- Το σήμα αυτό ενισχύεται από ηλεκτρονικές διατάξεις χαμηλού θορύβου και οδηγείται στο ηλεκτρονικό τμήμα ανίχνευσης δεδομένων του σκληρού δίσκου.
- Το κύριο πλεονέκτημα της ύπαρξης δύο ξεχωριστών στοιχείων είναι ότι κάθε στοιχείο μπορεί να βελτιστοποιηθεί ανεξάρτητα από το άλλο.



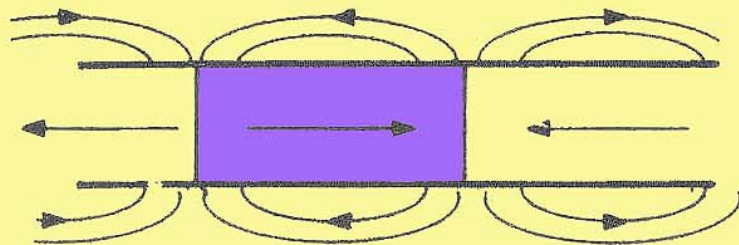
Video Animation-1



Περιεχόμενα

- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- **Τεχνολογία με άλματα**
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;

Μαγνητικά Μέσα

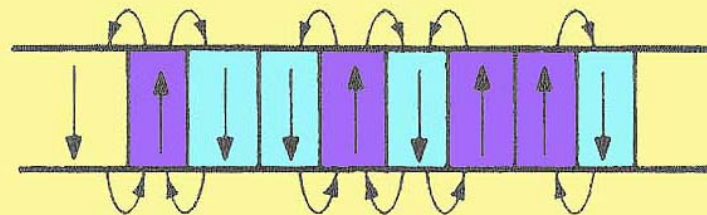


Longitudinal

$\lambda=0.5 \mu\text{m}$

10^5 bits/in

tape, floppies, hard-disks



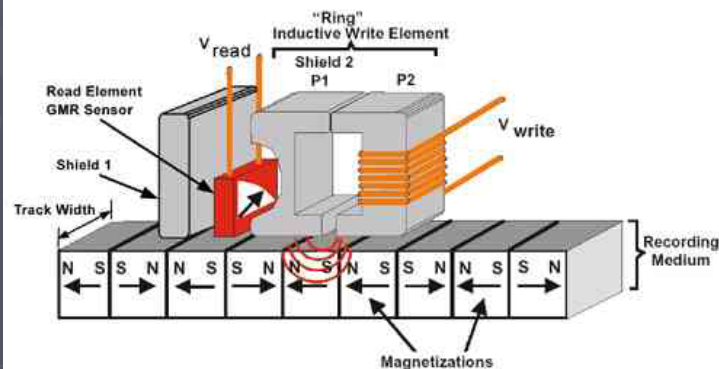
Perpendicular

$\lambda < 0.5 \mu\text{m}$

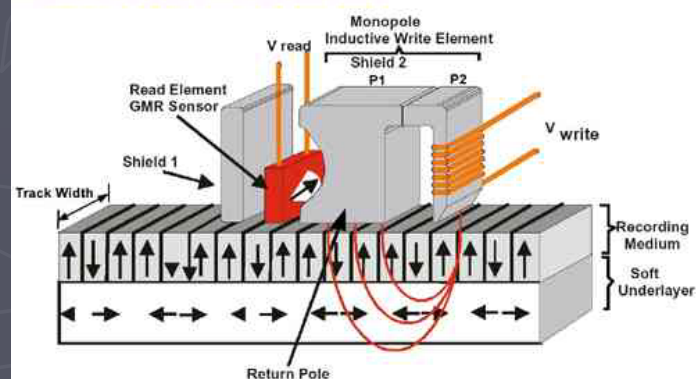
$5 \times 10^5 \text{ bits/in}$

Μαγνητο-οπτικά μέσα
επανασχεδιασμός κεφαλών

LONGITUDINAL RECORDING

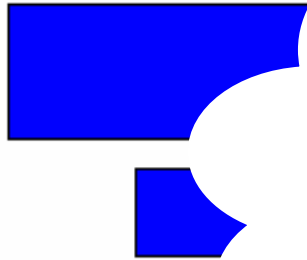


PERPENDICULAR RECORDING

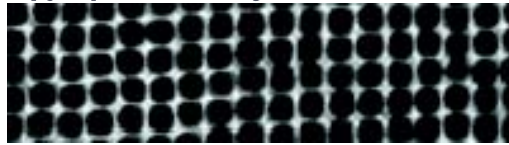


Διαστάσεις μονάδας πληροφορίας σε εμπορικά συστήματα

Διαμήκης
Εγγραφή



Για τιμές πυκνότητας της τάξεως των **Tbit/in²** απαιτούνται μέσα με ελεγχόμενο μέγεθος μαγνητικής περιοχής (κόκκων-bit) **< 7 nm** και διαχωριστικές αποστάσεις **1-2 nm**.



720 kbpix141 kt

102

100 nm

2000

2001

Κάθετη
Εγγραφή



850 kbpix

63.8

111

30nm x 194 nm

2500 kbpix

1000

10nm- 64nm

2001

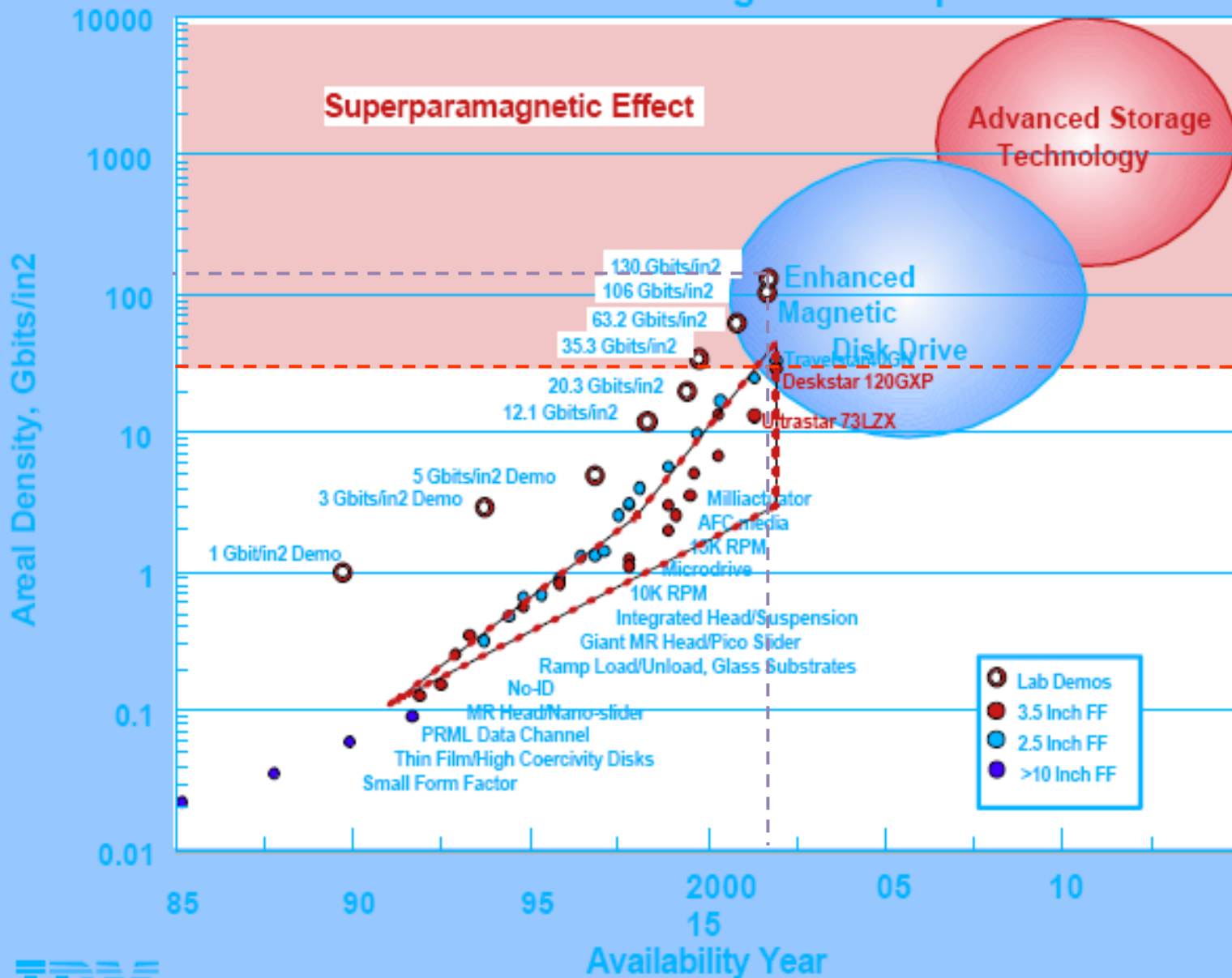
2002

2005

1 Tbps

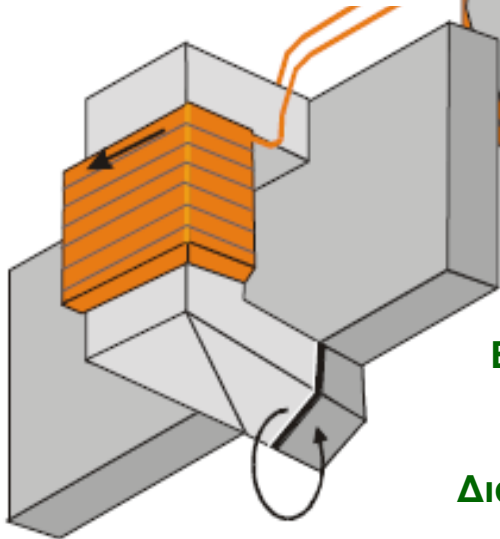
Μέσα αποθήκευσης δεδομένων

IBM Advanced Storage Roadmap



Εξέλιξη Αισθητήρων μαγνητικής ανάγνωσης/εγγραφής

1970
Επαγωγικές κεφαλές
από Φερρίτες MnFe
Πηνίο περιέλιξης,
μηχανικά μέρη,
Ανοχές υλικού-κατασκευής



1980
Επαγωγικές κεφαλές
από λεπτά υμένια
Πόλοι από NiFe
Διάταξη δύο στρωμάτων

>2003
Υμένια κάθετης εγγραφής
Επαγωγική εγγραφή
CPP κεφαλή ανάγνωσης

1997



Επαγωγικές κεφαλές
από λεπτά υμένια, GMR
κεφαλή ανάγνωσης,
Εκτεταμένη εγγραφή-λεπτομερής
ανάγνωση, Διάταξη τεσσάρων
στρωμάτων

Επαγωγικές κεφαλές από λεπτά
υμένια, Εκτεταμένη εγγραφή-
λεπτομερής ανάγνωση, Διάταξη
τεσσάρων επαφών, SAL Υμένιο MR
NiFe

Περιεχόμενα

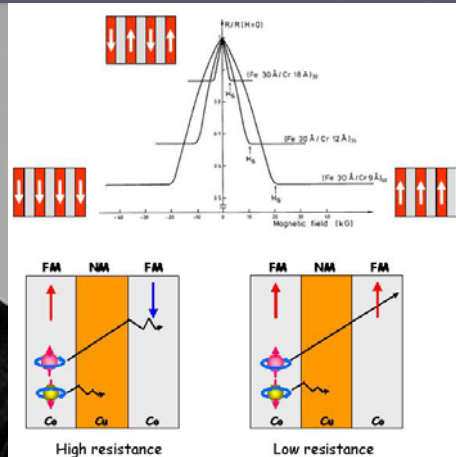
- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- Τεχνολογία με άλματα
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;



The Nobel Prize in Physics 2007 "for the discovery of Giant Magnetoresistance"



Albert Fert
Université Paris-Sud;
CNRS/THALES
Orsay, France



Peter Grünberg
Forschungszentrum
Jülich
Jülich, Germany

GMR



Ποιος αποφασίζει για το βραβείο Nobel στη Φυσική

Η βασιλική Ακαδημία Επιστημών της Σουηδίας είναι υπεύθυνη για την επιλογή των επιστημόνων που θα τους απονεμηθεί το βραβείο Nobel σχηματίζοντας κάθε τριετία την επιτροπή των βραβείων Nobel. Η Ακαδημία Επιστημών αριθμεί 350 μέλη από τη Σουηδία και 164 μέλη από άλλες χώρες. Για να γίνει κανείς μέλος πρέπει να τυγχάνει διεθνούς επιστημονικής αναγνώρισης και καταξίωσης μέσα από την επιτυχή περάτωση διακεκριμένων ερευνητικών επιτεύξεων.

Εφαρμογές του φαινομένου GMR

Από τότε οι GMR κεφαλές ανάγνωσης χρησιμοποιούνται ευρέως στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και οι επιδόσεις αυτές ξεπερνιούνται συνεχώς, οδηγώντας στη συνεχή μείωση του μεγέθους των επιτραπέζιων υπολογιστών αλλά κυρίως των φορητών υπολογιστών.

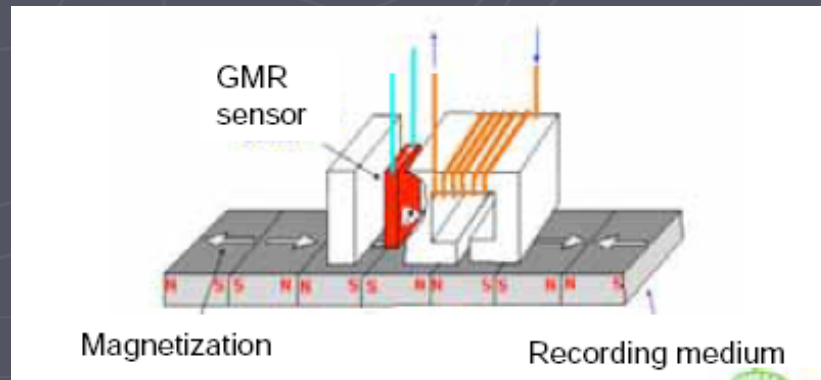
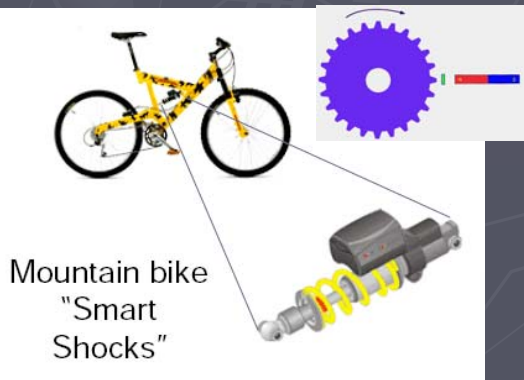
Το σημαντικότερο όφελος από τη χρήση GMR κεφαλών είναι

η μεγάλη τους ευαισθησία σε μαγνητικά πεδία, κατά συνέπεια ανιχνεύονται μαγνητικά πεδία από μικρότερες μαγνητικές περιοχές (bits) και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ

ο ηλεκτρονικός θόρυβος υπερκεράζεται από το πραγματικά δυνατό GMR σήμα.

Τέλος, εκτός από το μέγεθος και το κόστος των φορητών υπολογιστών που έχουν μειωθεί σημαντικά, τα στοιχεία GMR προσφέρουν

σταθερή και αμετάβλητη λειτουργία για πολλά χρόνια και με χαμηλή κατανάλωση ισχύος.



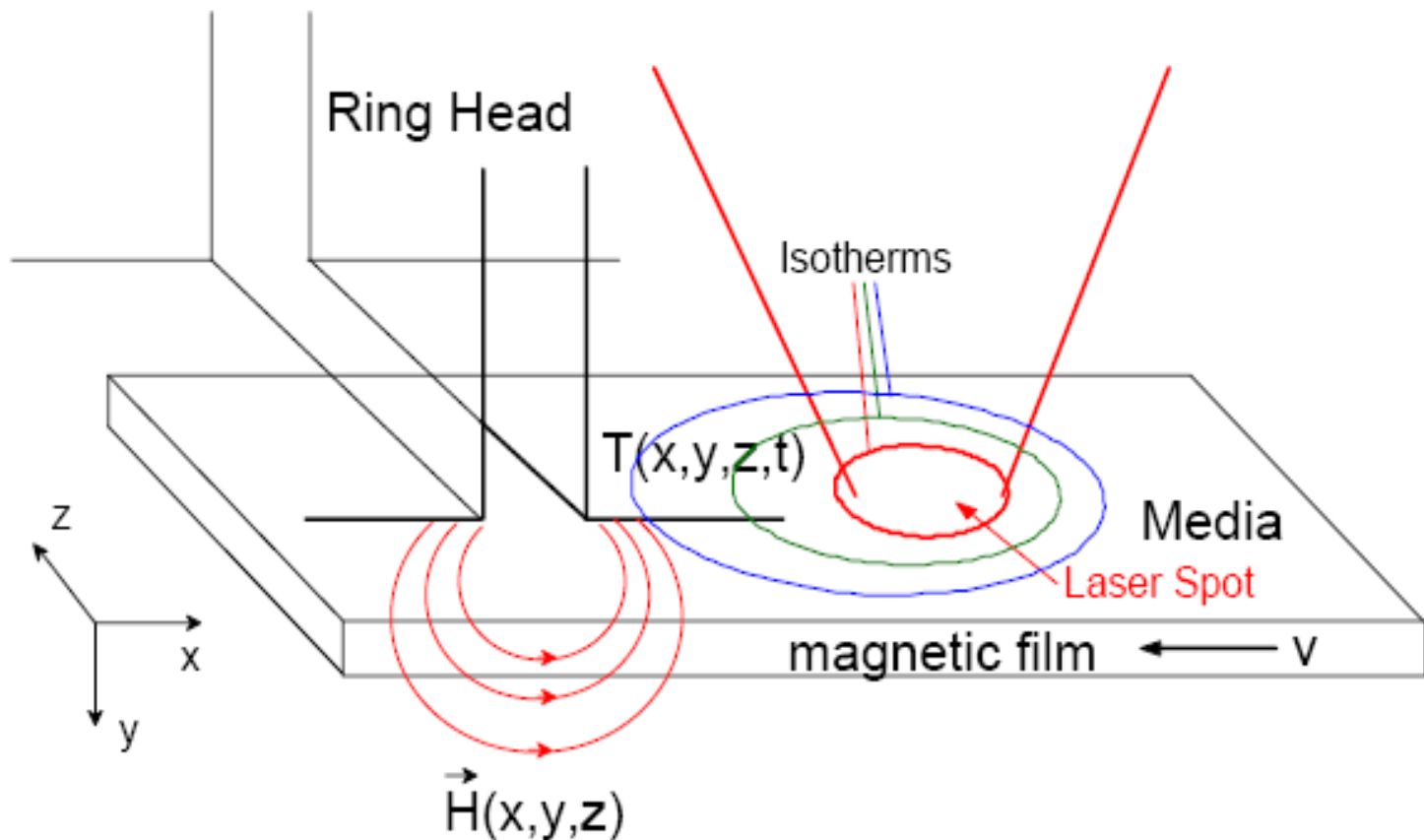
Περιεχόμενα

- Εισαγωγή-Ορισμοί
- Μαγνητικές νανοδομές
- Η πρώτη ανακάλυψη το 1988
- Η χρυσή δεκαετία 1988-1998
- Η πρώτη τεχνολογική εφαρμογή
- Τεχνολογία με άλματα
- Το Nobel Φυσικής 2007
- Έπεται συνέχεια;

Θερμομαγνητική εγγραφή

Heat-Assisted Magnetic Recording (HAMR)

Hybrid Recording Using Light



Αποθήκευση εγχάραξης (Probe)

- Η τεχνολογία αυτή λέγεται και τεχνολογία millipede και στηρίζεται σε μικρομηχανικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται ήδη στην μικροσκοπία ατομικών δυνάμεων (AFM).
- Μικροσκοπικές εγκοπές δημιουργούνται από μια ακίδα μικροσκοπίου AFM σε ένα πολυμερές υλικό και αποτελούν τις μονάδες πληροφορίας που μπορούν να διαβαστούν από την ίδια ακίδα.
- Τα δεδομένα που εγγράφονται κατά αυτόν τον τρόπο, μπορούν να διαγραφούν με την ίδια ακίδα, ενώ το πολυμερές μέσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χιλιάδες φορές.
- Η θερμομηχανική αυτή εγγραφή έχει δυνατότητες πυκνότητας πληροφορίας που ξεπερνούν το 1 Tb/in².
- Η διαδικασία εγγραφής επιτυγχάνεται με απλό τρόπο με τη βοήθεια μιας αντίστασης που τοποθετείται στο μικρομηχανικό σύστημα και μαλακώνει θερμαίνοντας τοπικά το πολυμερές (~ 400 °C) η ακίδα εισέρχεται σε αυτό και δημιουργεί μια εγκοπή.
- Η ανάγνωση επιτυγχάνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (~300 °C) όπου δεν μαλακώνει το πολυμερές. Καθώς η ακίδα εισέρχεται σε μια εγκοπή η αντίσταση ψύχεται λόγω καλύτερης διάδοσης της θερμότητας και καταγράφεται μια μετρήσιμη αλλαγή στην αντίσταση.

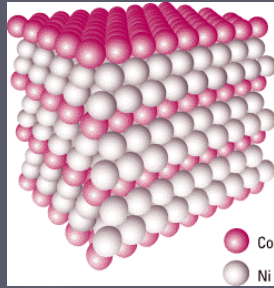
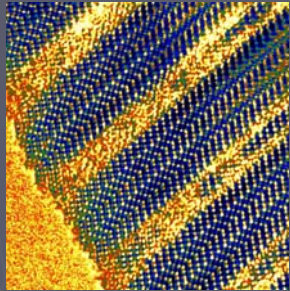


Ολογραφική αποθήκευση πληροφορίας



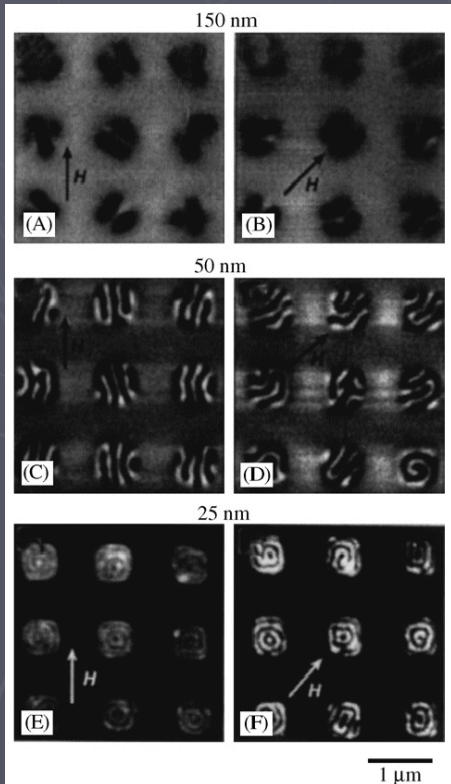
- ❑ Η μαγνητική και η συμβατική οπτική εγγραφή πληροφορίας στηρίζονται σε διακριτές μαγνητικές ή οπτικές μεταβολές στην επιφάνεια του κατάλληλου μέσου και εμφανίζουν φυσικά όρια μεγέθους και μέγιστης πυκνότητας.
- ❑ Μια εναλλακτική πρόταση στην προσπάθεια μεγιστοποίησης της πυκνότητας πληροφορίας, αποτελεί η αποθήκευση πληροφορίας **σε όλον τον όγκο του μέσου και όχι μόνο στην επιφάνεια του.**
- ❑ Η ολογραφική αποθήκευση αποτελεί μια τέτοια πρόταση, η οποία παρόλο που ανακαλύφθηκε πριν από δεκαετίες, πρόσφατα σημείωσε πρόοδο σε πρακτικούς τομείς όπως το χαμηλό κόστος και εναλλακτικά ολογραφικά μέσα αποθήκευσης.

Μαγνητικές νανοδομές

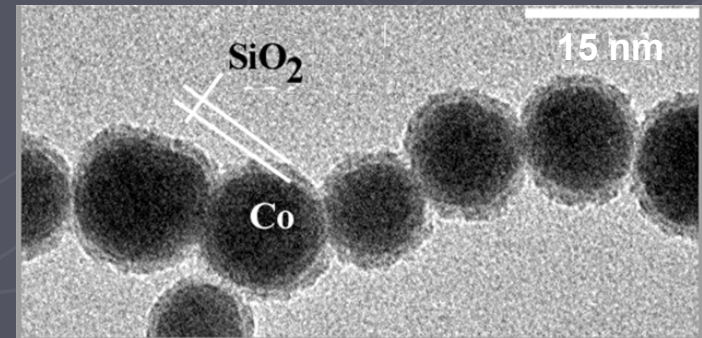
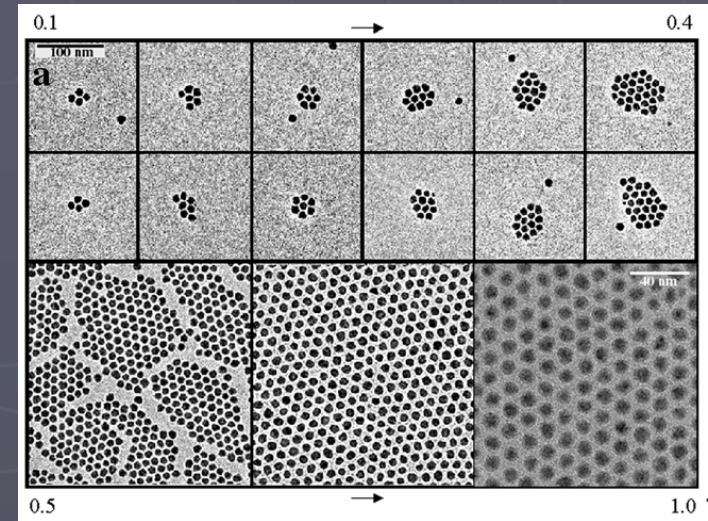
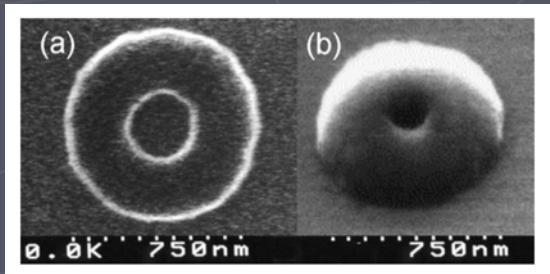
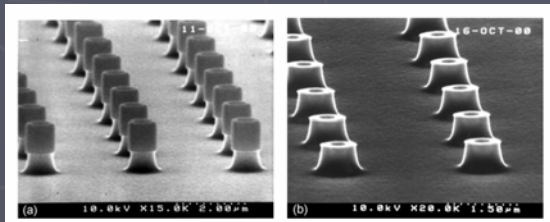


πολυστρωματικά
υμένα

νανοσωματίδια

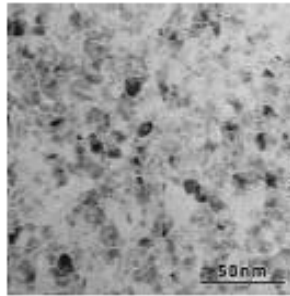


κουκκίδες

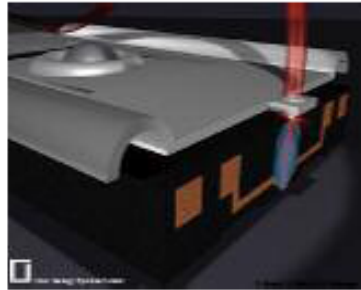


Νανοδομημένα υλικά & Μαγνητική Εγγραφή υψηλής πυκνότητας

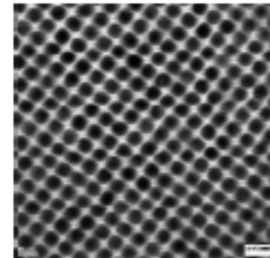
Perpendicular Media



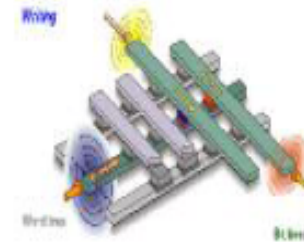
Heat Assisted Magnetic Recording



Self Organized Arrays



MRAM

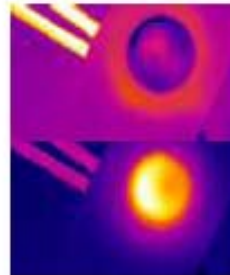


Νανοδομημένα υλικά & Βιοϊατρικές Εφαρμογές

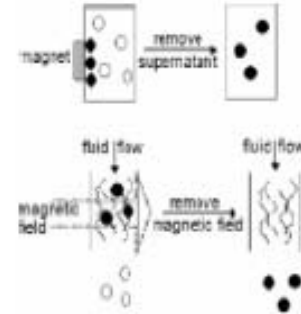
Magnetic Tagging



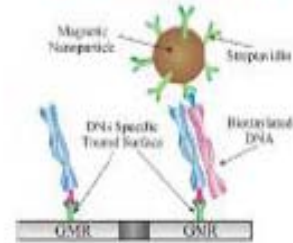
Hyperthermia



Magnetic Separation

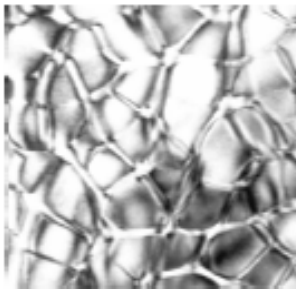


Bio-GMR sensors

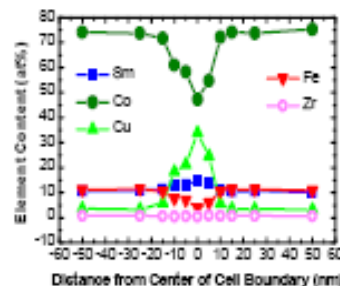


Η επόμενη γενιά μόνιμων μαγνητών

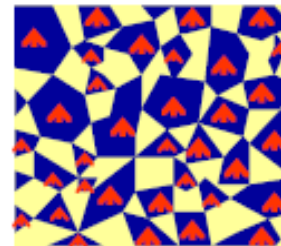
High Temperature Magnets



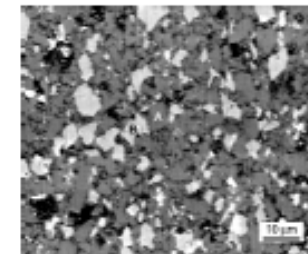
Magnetic Hardening Study



Anisotropic Nanocomposites

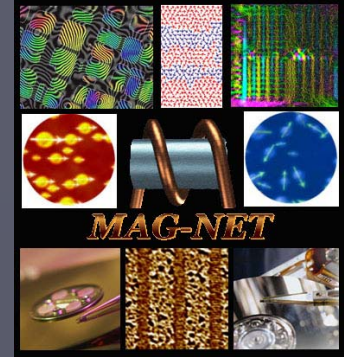


Hybrid Nd-Fe-B / R-Co systems



Η έρευνα μαγνητικών υλικών στο Τμήμα Φυσικής

<http://mp00.physics.auth.gr/multigr>
<http://web.auth.gr/mag-net/>



Ανάπτυξη & Μαγνητικός Χαρακτηρισμός

1. Μ. Αγγελακέρης, Λέκτορας, *Τομέας*
2. Ο. Βαλασιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, *Τομέας ΦΣΚ*
3. Κ. Ευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, *Τομέας ΕΦ&ΦΠ*
4. Ο. Καλογήρου, Αναπληρωτής Καθηγητής, *Τομέας ΕΦ&ΦΠ*
5. Θ. Σαμαράς, Επίκουρος Καθηγητής, *Τομέας ΕΦ&ΦΠ*
6. Ν. Φλεβάρης, Καθηγητής, *Τομέας ΦΣΚ*
7. Στ. Χατζηβασιλείου, Αναπληρωτής Καθηγητής, *Τομέας ΕΦ&ΦΠ*

**Πανελλήνιο Δίκτυο
Μαγνητικών Υλικών**

<http://web.auth.gr/grmagnet/>

Δομικά Χαρακτηριστικά

1. Ν. Βουρουτζής, *Επίκουρος Καθηγητής, Τομέας ΦΣΚ*
2. Θ. Κεχαγιάς, *Επίκουρος Καθηγητής, Τομέας ΦΣΚ*
3. Φ. Κομνηνού, *Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τομέας ΦΣΚ*
4. Χ. Λιούτας, *Επίκουρος Καθηγητής, Τομέας ΦΣΚ*
5. Ε. Παυλίδου, *Επίκουρη Καθηγήτρια*
6. Ε. Πολυχρονιάδης, *Καθηγητής, Τομέας ΦΣΚ*
7. Α. Στεργίου, *Καθηγητής, Τομέας ΕΦ&ΦΠ*
8. Ι. Τσιαούσης, *Δρ. ΙΔΑΧ, Τομέας ΦΣΚ*
9. Ν. Φράγκης, *Αναπληρωτής Καθηγητής, Τομέας ΦΣΚ*

Πηγές Βιβλιογραφίας

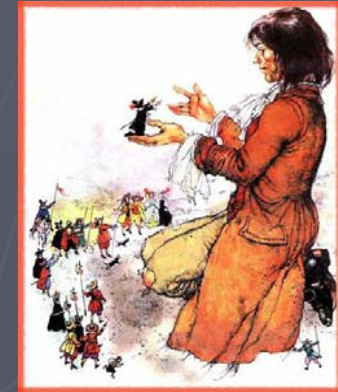
1. <http://mp00.physics.auth.gr/multigr>
2. <http://nobelprize.org>
3. <http://www.ibm.com>
4. Μ. Αγγελακέρης, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής-ΑΠΘ, 2000
5. "Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices" by M.N. Baibich et al., Physical Review Letters Vol. 61, No. 21 (1988).
6. "Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange" by G. Binasch et al., Physical Review B, Vol. 39, No. 7 (1989).
7. "Systematic Variation of the Strength and Oscillation Period of Indirect Magnetic Exchange Coupling through the 3d, 4d, and 5d Transition Metals" by S.S.P. Parkin, Phys. Rev. Lett. 67, 3598 (1991).



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Φυσικής

Όταν οι αντιστάσεις γιγαντώνονται

Μάκης Αγγελακέρης, Λέκτορας
Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης
Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ



19/2/2008, 20:15, Αστεροσκοπείο

Κύκλος ενημερωτικών διαλέξεων για τους Φοιτητές και Φοιτήτριες με τίτλο:
« Έρευνα στο Τμήμα Φυσικής»

Video Animation-2

GMR-effect



Video Animation-2

