

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA
prot. 2005022224

Coordinatore Scientifico	Gabriele FERRINI
Ateneo	Università Cattolica del Sacro Cuore
Titolo della Ricerca	Dinamiche di magnetizzazione in nanostrutture ferromagnetiche artificiali e autoassemblanti
Finanziamento assegnato	Euro 272.000
Durata	24 Mesi
Responsabile precedente	Fulvio PARMIGIANI

Obiettivo della Ricerca

Solo recentemente il progresso nelle tecniche di crescita e di caratterizzazione avanzata ha consentito la realizzazione di sistemi magnetici su una scala dimensionale inferiore a 100 nm. Le nanostrutture magnetiche realizzate possono essere classificate sulla base della modulazione della dimensionalità: ad esempio, sistemi a due dimensioni (strati sottili), ad una dimensione (fili e strutture a strisce) e, infine, i reticoli che possono essere considerati come sistemi a dimensionalità zero. Nei sistemi magnetici confinati si possono avere importanti modifiche della struttura elettronica e magnetica, indotte da effetti di rottura della simmetria, dalla coordinazione alterata, da cambiamenti dei legami chimici, etc.. Ciò può dar luogo all'insorgere di fenomeni assenti negli stessi materiali in forma massiva, allargando così le potenzialità applicative nel campo della magneto-ottica, dell'elettronica basata sullo spin, o spintronica, e dei dispositivi micro-elettromeccanici (MEMS). Obiettivi del presente progetto sono:

- 1-Preparare materiali magnetici avanzati come interfacce magneti/semiconduttori e materiali nanostrutturati ordinati.
- 2-Studiare la struttura e la micro-struttura, le proprietà magnetiche e di trasporto di questi materiali.
- 3-Studiare le proprietà di non-equilibrio e misurare la dinamica dei momenti magnetici nel dominio temporale dei picosecondi e sub-picosecondi.
- 4-Studiare alcune ricadute tecnologiche dei materiali e apparati preparati in questo progetto.

In dettaglio:

1-Oggigiorno i materiali più avanzati utilizzati nei dischi rigidi sono costituiti da nanocristalli di materiali magnetici. Al fine di aumentare la capacità di memoria è necessario ridurre le dimensioni dei grani cristallini ed abbassare il limite di rumore statico avvalendosi del minor numero di grani per bit. Per giungere a tale obiettivo nanoparticelle di materiali magnetici sono già da tempo oggetto di studio. Recentemente è stato proposto un nuovo tipo di sistema di immagazzinamento dati costituito da una matrice di nanomagneti litografati direttamente sul disco fisso. Per le loro promettenti proprietà funzionali, una significativa quantità di lavoro sia teorico che sperimentale è stata rivolta alla trattazione delle caratteristiche e performance delle strutture magnetiche ordinate a dimensioni nanometriche, dalla fabbricazione fino alla caratterizzazione. In particolare, è nostro scopo caratterizzare la crescita di strati omogenei di materiali magnetici di spessore nanometrico per deposizione da fase vapore, la crescita di multistrati magnetici con spaziatori non magnetici e di valvole di spin; produrre strati nanometrici "patterned" di materiali magnetici per deposizione da vapore e successivo processo nanolitografico, con dimensioni del singolo elemento del pattern dell'ordine del centinaio di nanometri; preparare materiali magnetici nanogranulari a magnetoresistenza gigante con tecniche di ipertempra da fase liquida e di post-riscaldamento rapido per effetto Joule. Inoltre, ispirati dal fenomeno di auto-assemblaggio presente in natura, intendiamo applicare approcci di tipo "bottom-up" per la produzione di micro e nano strutture magnetiche ordinate. Una strada alternativa è poi quella della deposizione mediante tecniche elettrochimiche o sputtering su substrati di Si preventivamente patterned o su film di allumina anodizzata. L'interesse prevalente riguarda la realizzazione di nanostrutture patterned su mezzi magnetici perpendicolari (in questo caso si parla di potenziale densità fino ad almeno 40 Tbit/in²). Tra questi si possono citare sistemi basati su materiali magnetici ad elevata anisotropia, come il CoPt, il CoCrPt ed il FePt, e, in prospettiva, anche il SmCo₅. La realizzazione di sistemi patterned basati su questi materiali può dar luogo ad una struttura a singolo dominio (alla rimanenza) anche con dimensioni laterali delle singole isole magnetiche superiori a 200 nm, poiché l'energia di anisotropia magnetocristallina è considerevolmente più grande di quella di smagnetizzazione ed il costo energetico di una parete di dominio è elevato. In ogni caso la scala dimensionale di interesse è sicuramente sub-micrometrica (almeno inferiore ai 500 nm) e ciò pone notevoli problemi tecnici per l'ottenimento di schiere di isole magnetiche mediante tecniche litografiche standard.

2- Le tecniche di diffrazione dei raggi X hanno un ruolo importante in quanto strumenti indispensabili per la determinazione non solo delle fasi cristalline presenti, ma anche per l'ottenimento di informazioni dettagliate sulla struttura di film sottili. Questi studi sono necessari per correlare le ridotte dimensioni del sistema con le sue proprietà funzionali. Le tecniche di diffrazione dei raggi X sono non distruttive e non richiedono una particolare preparazione dei campioni. Tra queste la riflettività dei Raggi X (XRR) accoppiata con la Diffrazione a Raggi X convenzionale (XRD) permette di ottenere una caratterizzazione strutturale precisa e completa. Con l'utilizzo di tali tecniche, studi riguardanti film e multistrati magnetici sono già stati eseguiti ed hanno permesso di indagare la relazione tra struttura e proprietà magnetiche di film sottili nanocristallini. Oggi i moderni diffrattometri a raggi X ad alta risoluzione sono estremamente sensibili alla struttura e microstruttura di aree vicino alle superfici o all'interfaccia. La diffrazione dei raggi X di reticoli coerenti può aumentare in modo significativo la rilevanza di distorsioni reticolari. Inoltre è possibile investigare la struttura in funzione della profondità scegliendo opportunamente l'angolo di incidenza. Questa tecnica può essere utile per studiare effetti di interazione su superfici e interfacce.

Quando queste informazioni sono integrate con quelle della struttura elettronica e della micro-XMCD (dicroismo circolare magnetico a raggi-X), si dispone di un mezzo unico e potente per studiare questi sistemi.

3-In questi ultimi anni è stata studiata la possibilità di modificare un sistema metallico di spin attraverso l'assorbimento di un impulso laser e più recentemente è stata dimostrata la possibilità di usare deformazioni meccaniche per il controllo dello spin. Nei nostri esperimenti più recenti abbiamo mostrato che è possibile usare impulsi laser di 120 fs per indurre una deformazione dinamica

in grado di modulare la magnetizzazione delle nanostrutture. Per quanto detto, obiettivo di questo lavoro è studiare con la tecnica TR-MOKE materiali nanostrutturati costituiti da materiali ferromagnetici molli e duri. Per eccitare i campioni saranno utilizzati impulsi laser infrarossi ultracorti e campi magnetici impulsati guidati da uno switch optoelettronico di GaAs.

4- Nei sistemi magnetici spazialmente confinati si possono avere importanti modificazioni alla struttura elettronica e di spin, particolarmente da effetti di rottura della simmetria, coordinazione alterata, cambiamenti dei legami chimici, effetti di forma e dimensionalità finita. Ciò può dar luogo all'insorgere di fenomeni assenti negli stessi materiali in forma massiva, allargando così le potenzialità applicative nel campo della magneto-ottica, dell'elettronica basata sullo spin, o spintronica, e dei dispositivi micro-elettromeccanici (MEMS). Ad esempio, la combinazione di elementi magnetici su scala nanometrica con l'elettronica tradizionale basata sui semiconduttori costituisce la base di nuove famiglie di dispositivi spintronici. Un differente tipo di integrazione è invece quella che riguarda nano-elementi magnetici e la micromeccanica del silicio, per la realizzazione di micro-attuatori, sensori e memorie magnetiche basate sui MEMS. In particolare, l'implementazione in questi dispositivi di materiali magnetici hard sotto forma di magneti permanenti planari costituisce l'ultimo obiettivo del nostro progetto, con un grande potenziale di innovazione.

Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

I reticoli ordinati di materiali magnetici nanostrutturati stanno suscitando molto interesse per le loro possibili applicazioni come memorie di massa ad altissima densità. Inoltre, da un punto di vista fondamentale, queste nanostrutture sono di grande interesse anche per lo studio delle proprietà magnetiche nei sistemi a bassa dimensionalità. Infatti, a causa della scala di lunghezza estremamente ridotta, della bassa dimensionalità e della loro mutua interazione, questi materiali spesso esibiscono nuove e interessanti proprietà rispetto ai loro analoghi su scala macroscopica. Inoltre, queste nuove proprietà possono anche essere manipolate attraverso ulteriori gradi di libertà, variando per esempio la struttura e il materiale costituente. Tuttavia, solo di recente sono stati eseguiti studi ed esperimenti che hanno evidenziato l'importanza applicativa delle nanostrutture magnetiche. Per esempio, studi su tematiche quali accoppiamento tra strati magnetici, magnetoresistenza gigante, magnetoresistenza di tunneling, polarizzazione per interazione di scambio, materiali semi-ferromagnetici, iniezione di spin e switching indotti da corrente, hanno mostrato interessanti prospettive quando portatori di carica polarizzati in spin sono utilizzati nei processi di informazione o spintronica.

Dinamica risolta in tempo di momenti magnetici.

Attualmente, lo studio delle proprietà meccaniche, magnetiche, elettroniche e strutturali di strati sottili metallici investiti da un'onda d'urto generata da impulsi laser al femtosecondo, sta ricevendo sempre più attenzione. Questa tecnica, per quanto è a nostra conoscenza, non è mai stata applicata a nanostrutture ferromagnetiche. L'applicazione di questa nuova tecnica a un reticolo ordinato di nanostrutture magnetiche ci permetterebbe di estendere gli studi precedentemente condotti su strati metallici sottili a materiali di dimensione nanometrica. Questo potrebbe essere il preludio di studi molto importanti sulla meccanica di non-equilibrio, sulla termodinamica e sulle proprietà magnetiche delle nanostrutture. Per la prima volta abbiamo dimostrato la possibilità di questi esperimenti.

L'integrazione di queste informazioni con quelle della struttura elettronica e della micro-XMCD (dicroismo circolare magnetico a raggi-X) costituisce un mezzo unico e potente per studiare questi sistemi. Il nostro scopo sarà quindi quello di studiare la correlazione tra le proprietà fononiche, elettroniche e magnetiche di questi sistemi. Per queste ragioni, crediamo che questa ricerca possa portare dei contributi sia per applicazioni tecnologicamente avanzate sia per studi fondamentali. Alla luce di quanto detto, sarà interessante esplorare anche quella regione in cui gli effetti di dimensionalità ridotta diventano importanti, ossia strutture di dimensioni dell'ordine di 100 nm, che rappresentano l'attuale limite tecnologico. A tale scopo, sono richieste nanomicroscopie ad alta risoluzione spaziale.

Fabbricazione di nanostrutture magnetiche.

I sistemi magnetici nanostrutturati nel piano (reticoli di dots, antidots, fili) o lungo la direzione di crescita (multistrati di spessore nanometrico e sub-nanometrico) presentano inoltre un importante interesse applicativo nel campo della registrazione magnetica. In questo ambito il limite superparamagnetico costituisce un forte ostacolo al raggiungimento di estreme densità di immagazzinamento dell'informazione (bit), che sono associate a dimensioni sempre più piccole delle unità strutturali del mezzo magnetico (grani). Una possibile soluzione proposta per il superamento di tali limiti è basata sulla suddivisione artificiale del mezzo magnetico in aree magneticamente separate, che possono essere utilizzate per immagazzinare un singolo bit. Un esempio consiste nella realizzazione, mediante tecniche litografiche (generalmente litografia ottica, interferometrica o da fasci elettronici, di nanostrutture magnetiche a singolo dominio isolate topograficamente e organizzate in forma di reticoli regolari (patterned systems). Inoltre, poiché l'attuale enfasi della ricerca in questo campo riguarda soprattutto i mezzi magnetici con anisotropia perpendicolare, che consentono in linea di principio di raggiungere densità areali più elevate (superiori a 100 Gbit/in², almeno a livello dimostrativo, e potenzialmente fino a 1 Tbit/in²), l'interesse prevalente riguarda la realizzazione di nanostrutture patterned su mezzi magnetici perpendicolari (in questo caso si parla di potenziale densità fino ad almeno 40 Tbit/in²). Tra questi si possono citare sistemi basati su materiali magnetici ad elevata anisotropia, come il CoPt, il CoCrPt ed il FePt, e, in prospettiva, anche il SmCo₅. La realizzazione di sistemi patterned basati su questi materiali può dar luogo ad una struttura a singolo dominio (alla rimanenza) anche con dimensioni laterali delle singole isole magnetiche superiori a 200 nm, poiché l'energia di anisotropia magnetocristallina è considerevolmente più grande di quella di smagnetizzazione ed il costo energetico di una parete di dominio è elevato. In ogni caso la scala dimensionale di interesse è sicuramente sub-micrometrica (almeno inferiore ai 500 nm) e ciò pone notevoli problemi tecnici per l'ottenimento di schiere di isole magnetiche mediante tecniche litografiche standard. La litografia da fascio elettronico consente in linea di principio di ottenere elementi di dimensioni inferiori ai 100 nm, per quanto non sia semplice la riproduzione dei singoli elementi in reticoli con area complessiva macroscopica. Tra i non molti esempi di sistemi patterned con anisotropia perpendicolare riportati in letteratura, ottenuti mediante litografia da fasci elettronici, si può citare la realizzazione di reticoli di dots su film continui di CoPt, con dimensioni laterali minime di 80 nm, e la fabbricazione di un reticolo di dots circolari di FePt. Recentemente è stata riportata in letteratura l'applicazione di tecniche differenti per l'ottenimento di strutture patterned per registrazione perpendicolare: tra le altre si possono citare la tecnica Focused Ion Beam (FIB) ed altri metodi finalizzati alla realizzazione di strutture su grande area, come la strutturazione diretta mediante proiezione di ioni, la nanoimprint lithography e l'auto-organizzazione assistita artificialmente. Una strada alternativa è poi quella della deposizione mediante tecniche elettrochimiche o sputtering su substrati di Si preventivamente patterned o su film di allumina anodizzata. Occorre sottolineare

come, a fronte di una enorme mole di pubblicazioni relative alla realizzazione ed allo studio di sistemi patterned basati su materiali ferromagnetici soft, come Fe, Permalloy o Co, pochi lavori sono stati indirizzati ad analoghi sistemi basati su materiali hard, e ancora meno con anisotropia perpendicolare. Nel caso dei sistemi patterned soft la motivazione principale riguarda lo studio della configurazione a domini e del comportamento di inversione della magnetizzazione: ma ciò sembra aver aggiunto poche informazioni davvero nuove rispetto a quanto è già noto dai modelli classici della struttura a domini e dei processi di magnetizzazione. Inoltre la difficoltà incontrata nella realizzazione di strutture prive di difetti morfologici e strutturali (e con uniformità nella forma delle singole isole) sembra sia all'origine della vasta dispersione nei risultati ottenuti riguardo alle proprietà magnetiche estrinseche, ad esempio la coercitività. Una sfida notevole è anche quella di riuscire a realizzare sistemi costituiti, per ogni isola, da pochi grani di dimensioni relativamente grandi, o idealmente da un solo grano, allo scopo di aumentare la stabilità termica.

Criteri di verificabilità

Per quanto attiene ai criteri di verificabilità dei risultati di questo progetto, quelli più diretti saranno forniti dalle pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali di riconosciuto prestigio, la partecipazione a congressi e workshops e la realizzazione di eventuali brevetti.

Nei laboratori delle singole unità dovranno essere realizzati e funzionanti gli strumenti e gli apparati descritti nel progetto e relativi alla sintesi e allo studio dei materiali magnetici nanostrutturati che ci siamo proposti di realizzare.

Elenco delle Unità di Ricerca

Sede dell'Unità	Università Cattolica del Sacro Cuore
Responsabile Scientifico	Gabriele FERRINI
Finanziamento assegnato	Euro 37.904

Compito dell'Unità

Il ruolo principale di questa unità è studiare le dinamiche dei momenti magnetici su reticoli ordinati di nanostrutture di materiali ferromagnetici con dimensione laterale submicrometrica. La dimensione delle nanostrutture è tale da produrre un pattern di diffrazione, le misure TR-MOKE saranno condotte sul primo ordine dello spot di diffrazione. Lo spessore delle nanostrutture sarà dell'ordine delle decine di nanometri, dello stesso ordine cioè della lunghezza di penetrazione della luce. Misure di riflettività risolte in tempo in modalità pump-probe saranno usate per studiare la formazione di onde stazionarie radiali e longitudinali il cui periodo dovrebbe essere dell'ordine delle centinaia di picosecondi. L'aspetto interessante, in questo caso, è costituito dalla correlazione tra la modulazione della magnetizzazione, misurata con la tecnica TR-MOKE e le onde acustiche associate. I campioni nanostrutturati saranno preparati dalle unità II, III e IV. I primi esperimenti saranno realizzati su nanostrutture di forma cilindrica disposte in un reticolo ordinato con un periodo di centinaia di nanometri. Su questi campioni è possibile eseguire misure ottiche sfruttando il pattern di diffrazione generato illuminando il campione con un fascio di luce significativamente più grande della dimensione della singola nanostruttura. Le variazioni dell'intensità degli spot diffratti possono essere direttamente collegate alla variazione dell'intensità della luce riflessa e quindi al cambiamento della riflettività degli elementi che generano il pattern di diffrazione. Sotto queste condizioni tutte le tecniche ottiche di pump-probe, come la riflettività risolta in tempo, TR-MOKE e così via, possono essere, in principio, estese a reticoli ordinati di nanostrutture. L'integrazione di queste informazioni con quelle della struttura elettronica e della micro-XMCD (dicroismo circolare magnetico a Raggi-X) costituisce un mezzo unico e potente per studiare questi sistemi. Il nostro scopo sarà quindi quello di studiare la correlazione tra le proprietà fononiche, elettroniche e magnetiche di questi sistemi. Per queste ragioni, crediamo che questa ricerca possa portare dei contributi sia per applicazioni tecnologicamente avanzate sia per studi fondamentali. Alla luce di quanto detto, sarà interessante esplorare anche quella regione in cui gli effetti di dimensionalità ridotta diventano importanti, ossia strutture di dimensioni dell'ordine di 100 nm, che rappresentano l'attuale limite tecnologico. A tale scopo, sono richieste nanomicroscopie ad alta risoluzione spaziale.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di PARMA
Responsabile Scientifico	Massimo SOLZI
Finanziamento assegnato	Euro 40.080

Compito dell'Unità

Oggetto del programma di questa unità di ricerca è lo studio delle proprietà magnetiche macroscopiche intrinseche e dei processi di magnetizzazione di sistemi nanostrutturati nel piano (reticoli di dots, antidots, fili) o lungo la direzione di crescita (film e multistrati di spessore nanometrico e sub-nanometrico). In particolare i materiali oggetto dello studio saranno la fase ordinata L10 con stechiometria approssimata Fe₅₀Pt₅₀ e Co₅₀Pt₅₀ e soluzioni solide del tipo Co₈₀Pt₂₀, entrambe con elevata anisotropia magnetocristallina. Film di Fe₅₀Pt₅₀ e Co₅₀Pt₅₀ saranno cresciuti epitassialmente mediante alternated layer deposition con RF sputtering su substrati monocristallini di MgO(100). Il passaggio successivo consisterà nella realizzazione di strutture patterned ottenute mediante litografia ottica e da fascio elettronico (presso altre unità di ricerca nell'ambito del Progetto) a partire dai film di FePt e di CoPt. Inizialmente si prevede di sfruttare la litografia ottica per ottenere su grande area reticoli regolari di isole magnetiche con dimensione laterale e spaziatura dell'ordine del micron. L'obiettivo finale consisterà nella realizzazione, mediante litografia da fascio elettronico, di strutture con dimensione laterale variabile da 500 nm ad un valore minimo compreso tra 50 e 100 nm (con spaziatura proporzionale), di possibile interesse per la registrazione magnetica perpendicolare (PMR). Successivamente il nostro programma prevede la crescita di bistrati hard/soft mediante la sovrapposizione ai film di FePt e CoPt di uno strato soft (es. Fe, Permalloy o Fe₃Pt). Infine intendiamo realizzare anche sistemi patterned perpendicolari compositi, con le stesse caratteristiche indicate più sopra. Perciò mantenendo il duplice obiettivo di realizzare reticoli di: (i) micromagneti exchange-spring perpendicolari con dimensione laterale e spessore micrometrico, per possibili applicazioni in ambito MagMAS; (ii) elementi magnetici compositi con dimensione laterale e spessore sotto i 100 nm, per possibili applicazioni in ambito PMR. Per analizzare la complessa fenomenologia nei sistemi oggetto di studio verranno utilizzate tecniche avanzate di caratterizzazione magnetica, sia macro- che microscopica. Per lo studio dell'evoluzione della magnetizzazione e della formazione di domini magnetici verranno effettuate: (i) misure accurate del ciclo di isteresi in un ampio intervallo di temperature e di campi magnetici, mediante magnetometri SQUID e AGFM ed il magnetometro ad oscillazione torsionale attivata (ATOM); (ii) delle tecniche di microscopia a sonda in scansione (AFM/MFM) e (iii) della diffrazione magnetica risonante di raggi X (XRMS).

Sede dell'Unità

Università degli Studi di BRESCIA

Responsabile Scientifico

Elza BONTEMPI

Finanziamento assegnato

Euro 131.092

Compito dell'Unità

1 - Film di particelle colloidali auto-assemblanti (ad esempio polistirene e silice) verranno depositati per litografia colloidale. Questa tecnica consente di ottenere un approccio nuovo, veloce e relativamente semplice per la fabbricazione di nanostrutture ordinate su aree anche relativamente larghe (qualche cm²) prodotte con l'ausilio di matrici di particelle auto-assemblate elettrostaticamente e poi usate come maschere per la successiva deposizione. Verranno quindi esplorati diversi metodi per l'attivazione del substrato al fine di controllare il processo di deposizione ordinata. Verrà valutata inoltre la possibilità di modificare le dimensioni e la geometria delle lacune. Per ottenere diverse tipologie di impacchettamento 3D (come ad esempio fcc ed altri) verranno impiegate microsfele a diversi diametri. Quest'ultimo punto rappresenta un interessante elemento di novità per ottenere siti tetraedrici ed ottaedrici ordinati. 2- Film metallici a singolo strato o a multistrato (per esempio Co, Fe ed altri) saranno depositati sulle maschere precedentemente descritte attraverso la tecnica di "sputtering" (Unità 3). Sarà necessario ottimizzare i parametri di deposizione nell'ottica di ottenere buone proprietà magnetiche per questo tipo di sistemi. 3- Questa Unità di ricerca effettuerà inoltre la caratterizzazione morfologica, strutturale, microstrutturale e chimica dei film prodotti nel progetto. Le proprietà magnetiche saranno indagate con l'ausilio della Microscopia a Forza Magnetica (MFM), mentre il diffrattometro ad alta risoluzione, che intendiamo acquisire grazie a tale progetto, verrà testato ed ottimizzato per la caratterizzazione precisa ed accurata di tutti i campioni prodotti. I campioni saranno caratterizzati anche con la Riflettività a Raggi X (XRR). Questa è una tecnica unica per la misura dello spessore totale, della densità e dalla rugosità di film sottili e, qualora applicata allo studio di multistrato, essa permette di studiare la qualità della struttura multistrato (periodicità, rugosità superficiale e all'interfaccia strato-strato e diffusione). Inoltre, le strutture periodiche stratificate saranno studiate con la diffrazione ad alto angolo (HAXRD). Analizzando in parallelo gli spettri di riflettività e diffrazione con opportuni software è possibile dedurre informazioni essenziali sulla qualità dei multistrato depositati. Le due tecniche infatti danno informazioni complementari in quanto vanno ad indagare differenti intervalli spaziali. Infine, per la determinazione della composizione chimica dei campioni sono stati recentemente acquisite due nuove strumentazioni: un SIMS (Spettroscopio di Massa a Ioni Secondari) ed una micro-Fluorescenza a Raggi X (microXRF). Il SIMS è una tecnica per analisi chimiche superficiali molto precise: essa consente di rilevare gli elementi presenti anche in funzione della profondità. La microscopia a forza atomica (AFM) verrà utilizzata per lo studio morfologico dei film ordinati ottenuti dalle deposizioni e la microscopia a forza magnetica (MFM) ci permetterà una prima caratterizzazione magnetica degli stessi. Infatti, muovendo una punta per AFM, avente un diametro di pochi nanometri, lungo il campione, è possibile ottenere una visione tridimensionale della superficie con risoluzione di alcuni nanometri sia laterale che verticale. Tale tecnica permette di misurare differenti tipi di forze in modo da ottenere la distribuzione spaziale di diverse proprietà, inclusa la magnetizzazione (MFM). L'AFM consente inoltre l'ottenimento di misure di rugosità superficiale, dimensioni dei grani e relativa distribuzione.

Sede dell'Unità	Politecnico di TORINO
Responsabile Scientifico	Paolo ALLIA
Finanziamento assegnato	Euro 62.924

Compito dell'Unità

L'attività dell'Unità di ricerca è articolata in due distinti compiti, dettagliati nel seguito. Il primo compito è quello di realizzare geometrie patternate, su scala submicrometrica, in film o multistrati di materiali magnetici dolci (leghe FeNi), duri (FePt in fase tetragonale), e di carattere misto (ferromagneti exchange-spring). I film o multistrati da sottoporre a patterning saranno cresciuti mediante sputtering sia presso questa Unità che presso altre Unità partecipanti al progetto (es. Unità IV). Il patterning sarà effettuato attraverso tecniche di nanolitografia mediante fascio di elettroni allo scopo di ottenere campioni caratterizzati da una matrice di elementi magnetici uguali di dimensione nanometrica, ad alta simmetria. Variando la forma, lo spessore, la distanza tra centri di elementi adiacenti, così come la simmetria della matrice, sarà possibile studiare l'effetto di tali fattori geometrici sulle interazioni magnetiche tra elementi del pattern nonché sulla distribuzione del vettore magnetizzazione all'interno di ciascun elemento, sulla risposta magnetica collettiva del materiale patternato e sui tempi di switching della magnetizzazione. La risposta magnetica di quasi-equilibrio dei film nanopatternati sarà studiata anche attraverso l'applicazione della tecnica MFM per la ricostruzione del ciclo di isteresi. Il secondo compito dell'Unità riguarda lo studio delle proprietà fisiche dell'interfaccia tra uno strato sottile ferromagnetico ed uno strato semiconduttore, finalizzato allo sviluppo di un dimostratore di transistor ad effetto tunnel magnetico (MTT) per applicazioni nelle tecnologie avanzate della comunicazione e dell'informazione. Lo studio delle condizioni ottimali per lo sviluppo di un dispositivo MTT rappresenta attualmente un obiettivo primario della ricerca avanzata nel campo della nanospintronica, ossia dell'elettronica che sfrutta la possibilità di manipolare e controllare il trasporto di spin elettronico in materiali allo stato solido su distanze dell'ordine del nanometro. Un MTT consiste: A) di un emettitore ferromagnetico (Fe, Co o lega), una barriera tunnel, una base costituita da un singolo metallo ferromagnetico ultrasottile, e un collettore di materiale semiconduttore (quale il GaAs o il Si); oppure, B) di un emettitore non magnetico (Cu), una barriera tunnel, una base costituita da una valvola di spin (film a tre strati ultrasottili), e un collettore di materiale semiconduttore (quale il GaAs o il Si). Si prevede che entrambe le configurazioni possano generare dispositivi efficaci. In questo progetto saranno effettuati i passaggi preliminari relativi all'ottimizzazione delle proprietà fisiche degli strati magnetici attivi e di quelle di interfaccia tra ferromagnete e semiconduttore. Le varie fasi sono così riassumibili: a) preparazione mediante deposizione per sputtering di una valvola di spin (film a tre strati: metallo ferromagnetico/metallo non magnetico/metallo ferromagnetico) e sua caratterizzazione strutturale, morfologica, elettrica e magnetica; b) preparazione mediante deposizione per sputtering di una giunzione a effetto tunnel magnetico (MTJ) standard, del tipo metallo ferromagnetico/isolante/metallo ferromagnetico, e sua caratterizzazione strutturale, morfologica, elettrica e magnetica; c) utilizzazione della valvola di spin ottimizzata per preparare mediante sputtering una pseudo-MTJ del tipo (B): metallo non magnetico/isolante/valvola di spin; il dispositivo ottenuto verrà completamente caratterizzato; d) studio delle proprietà di adesione, corrugamenti, ecc. allo scopo di ottimizzare l'interfaccia tra metallo ferromagnetico e materiale semiconduttore; e) studio dell'iniezione di elettroni dal metallo ferromagnetico al semiconduttore.
