



RELAZIONE SCIENTIFICA FINALE PROGRAMMA DI RICERCA STM 2011

Titolo del programma: Applicazione della fotoemissione risolta in spin ed in angolo a sistemi con interazione di scambio ed effetto Rashba.

Il Fruitore: Moras Paolo

Istituto di afferenza: Istituto di Struttura della Materia
con qualifica Ricercatore livello III

Durante il periodo di permanenza presso il National Synchrotron Light Source (NSLS) del Brookhaven National Laboratory (BNL) ho collaborato con il gruppo diretto dal Dr. Elio Vescovo sulle tematiche del programma STM 2011. Il laboratorio del Dr. Vescovo, la beamline U5UA ad alto flusso nella regione energetica dell'ultravioletto, è dotato di uno spin detector accoppiato ad un analizzatore per elettroni ad alta risoluzione energetica ed angolare. Questo strumento consente di esaminare la distribuzione energetica, angolare e l'asimmetria di spin di fotoelettroni eccitati da radiazione ultravioletta e, quindi, di determinare con altissima efficienza la polarizzazione di spin di singoli stati di banda elettronica.

La prima parte della sessione sperimentale è stata dedicata allo studio della struttura elettronica di films epitassiali di Ag(111) cresciuti in condizioni di ultra alto vuoto su un layer spesso di Fe(110) magnetizzato in piano lungo la direzione [001]. Questo tipo di sistemi, precedentemente investigato con la fotoemissione risolta in angolo presso i laboratori ISM-CNR di Trieste, è caratterizzato in prossimità del livello di Fermi dalla formazione di stati elettronici discreti (quantum well states) di tipo sp, con una dispersione energetica parabolica in funzione del momento parallelo alla superficie. L'analisi di spin ha consentito di chiarificare i dettagli dell'interazione tra gli stati elettronici dei films e del substrato. Gli spettri di fotoemissione mostrano che la rottura della degenerazione di spin delle bande del Fe, dovuta all'interazione di scambio e responsabile del suo stato ferromagnetico, induce uno splitting energetico nei corrispondenti stati dell'Ag. Ulteriori differenze, evidenziabili solo con la risoluzione in spin, riguardano la forma di riga dei picchi di fotoemissione, che risultano più intensi ed avere una larghezza minore per i quantum well states minoritari (cioè con energie di legame più vicine al livello di Fermi rispetto all'altro canale di spin). Queste proprietà caratteristiche e la loro dipendenza dallo spessore dei films di Ag verranno ulteriormente investigate con calcoli di struttura a bande utilizzando la teoria del funzionale densità.

Per films più sottili di 8 layers monoatomici (ML) è stato inoltre possibile individuare uno splitting energetico anche per gli stati di superficie dell'Ag(111) di tipo Schokley, i cui minimi si trovano al centro della zona di Brillouin di superficie in prossimità del livello di Fermi. Nonostante la densità di carica associata a questi stati sia prevalentemente localizzata alla superficie, infatti, le relative funzioni d'onda possono penetrare significativamente all'interno del film e propagarsi fino all'interfaccia con il Fe. Per films molto sottili i canali di spin su e spin giù degli stati di superficie, normalmente degeneri nell'Ag(111), appaiono ben separati in energia (40 meV circa per 6 ML). Questo è un risultato sperimentale molto interessante in quanto significa che il contatto tra un film metallico non magnetico ed uno magnetico induce un momento magnetico



alla superficie del primo. Ulteriori tipi di studi, basati su tecniche sperimentali quali la spettroscopia ad effetto tunnel risolta in spin o il dicroismo magnetico con raggi X polarizzati circolarmente, potrebbero fornire il valore del momento magnetico indotto alla superficie dell'Ag.

Una volta terminata l'analisi preliminare descritta sopra si è passati allo studio del sistema Bi/Ag(111)/Fe(110), che si forma depositando 1/3 ML Bi sulla superficie dell'Ag. L'aggiunta di Bi dà origine alla lega superficiale Ag_2Bi , caratterizzata da due coppie di stati di superficie splittate in spin dall'interazione Rashba (manifestazione dell'accoppiamento spin-orbitale in sistemi a bassa dimensionalità). Precedenti studi avevano dimostrato che queste bande possono interagire con i quantum well states del film di Ag sottostante. Nei laboratori ISM-CNR di Trieste era emersa, tuttavia, una chiara asimmetria nella dispersione delle bande del sistema Bi/Ag(111)/Fe(110) in funzione del momento parallelo alla superficie rispetto al centro della zona di Brillouin di superficie. Tale osservazione era ovviamente in contrasto con le proprietà di simmetria per inversione che gli stati elettronici di un sistema cristallino devono soddisfare. Ulteriori analisi avevano pure dimostrato che il pattern elettronico asimmetrico poteva essere rovesciato rispetto allo stesso punto invertendo la magnetizzazione del substrato di Fe. Gli esperimenti realizzati presso la beamline del Dr. Vescovo hanno consentito di investigare direttamente l'origine di questi effetti. In termini generali l'asimmetria osservata deriva dall'accoppiamento selettivo tra bande del film e di superficie dello stesso spin. Quando una banda di superficie della lega Ag_2Bi incrocia un particolare quantum well state, l'ibridizzazione può avvenire solo con la banda di spin corrispondente. Tale interazione, tuttavia, ha luogo in modo differente per i due canali di spin, come evidenziato nelle scansioni angolari del segnale di fotoemissione misurate con lo spin detector in dotazione alla beamline U5UA. I quantum well states, infatti, sono splittati in energia e l'intensità di uno dei due canali (minoritario) prevale sull'altro (maggioritario). Pertanto, quando si considera l'intera struttura a bande del sistema le gap energetiche tra stati del film e di superficie sono poste ad energie differenti rispetto al centro della zona di Brillouin di superficie. Il pattern asimmetrico di fotoemissione risulta essere invertibile cambiando la magnetizzazione del sistema, che definisce il carattere di spin dei quantum well states, ma non agisce sulle proprietà degli stati di superficie. In conclusione, il programma STM 2011 volto all'analisi di sistemi in cui le interazioni di scambio e Rashba agiscono su scale energetiche molto simili ha portato ottimi risultati sperimentali. Il sistema Bi/Ag(111)/Fe(110), appositamente creato per combinare secondo nuove modalità gli effetti Rashba e di scambio, apre interessanti prospettive per la manipolazione dello spin in strutture a multilayer.