

Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto per la  
Microelettronica e i Microsistemi

U.O.S. Lecce

# RELAZIONE

sull'attività di ricerca svolta

dal 15/10/2015 al 5/11/2015

Short Term Mobility usufruita dal sottoscritto Dr. Adriano Colombelli, presso l'Instituto de Microelectrónica de Madrid (Centro Nacional de Microelectrónica) PTM, calle Isaac Newton 8, 28760 Tres Cantos, Madrid.

Le attività di ricerca svolte nel periodo 15 Ottobre 2015 - 5 Novembre 2015 presso l'Instituto de Microelectrónica de Madrid, hanno riguardato lo studio di materiali magneto-plasmonici nanostrutturati con applicazioni nel campo dei sensori opto-chimici.

Partendo dallo studio dei plasmoni di superficie propaganti e localizzati, ci si è proposti di studiare gli effetti della modulazione della risonanza plasmonica tramite l'utilizzo di un campo magnetico oscillante esterno allo scopo di migliorare le prestazioni di tali tipi di sensori. Questa tecnica rientra nell'ambito della "plasmonica attiva" e viene generalmente indicata con il nome di risonanza plasmonica di superficie magneto-ottica (MO-SPR). Essa richiede lo sviluppo di particolari sistemi costituiti da metalli nobili e ferromagnetici che presentino sia un'attività plasmonica che magneto-ottica, permettendo così la simultanea eccitazione della risonanza plasmonica (SPR e LSPR) e il verificarsi dell'effetto Kerr magneto-ottico in configurazione trasversale (TMOKE).

Negli ultimi anni, l'amplificazione degli effetti magneto-ottici ha stimolato un notevole interesse nella comunità scientifica, a causa delle numerose possibili applicazioni nel settore delle telecomunicazioni, nello sviluppo di supporti informatici di archiviazione di massa e nel sensing chimico e biologico. Tra le molteplici strategie proposte in letteratura, la fabbricazione di innovativi sistemi Magneto-Plasmonici (MP), sembra essere molto promettente. Tale strategia prevede lo sviluppo di particolari sistemi multi-layer nanostrutturati, come quelli riportati in Figura 1, che presentano un'amplificata attività MO in determinati range di frequenze. Attualmente, una grande varietà di materiali magneto plasmonici sono stati proposti in letteratura, scegliendo come materiale plasmonico metalli nobili come l'Oro o l'Argento, e come componente ferromagnetica metalli come il Ferro, il Cobalto o il Nickel.

La fabbricazione e l'ottimizzazione di simili sistemi richiede lo sviluppo di specifici tools di calcolo numerico in grado di simulare le loro proprietà ottiche e magneto ottiche. Motivo per cui, nel periodo di soggiorno previsto dal programma STM, ci si è proposti di acquisire le conoscenze necessarie per la realizzazione di modelli numerici adatti allo studio teorico delle proprietà magneto-plasmoniche di sistemi nanostrutturati di varia natura. Tale attività è stata svolta in collaborazione con il gruppo del

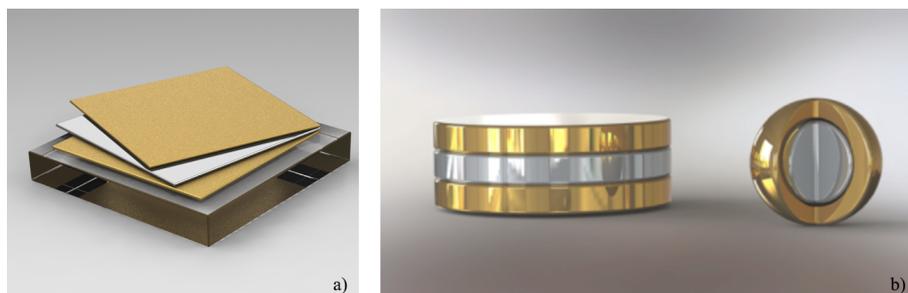


Figura 1 Esempi di sistemi Magneto-Plasmonici Nanostrutturati composti da metalli nobili e ferromagnetici: (a) Trasduttore MO-SPR basato su tecnologia a film sottile; (b) Trasduttori MO-LSPR con diverse geometrie (core-shell e nano-disk)

Dr. Antonio García-Martín dell'Instituto de Microelectronica de Madrid, grazie alla loro maturata esperienza nell'ambito della fabbricazione e caratterizzazione (teorica e sperimentale) di nanostrutture magneto-plasmoniche.

In particolare sono state acquisite le competenze necessarie per simulare l'interazione tra fenomeni di risonanza plasmonica di superficie e fenomeni magneto-ottici, su particolari sistemi metallici nanostrutturati, utilizzando il software di simulazione FEM COMSOL Multiphysics, ed il metodo di calcolo numerico DDA (Discrete Dipole Approximation). Sono state investigate le proprietà ottiche e magnetiche di sistemi costituiti da metalli nobili e ferromagnetici analizzando l'interazione tra la risonanza plasmonica di superficie (localizzata e propagante) e gli effetti magneto ottici al variare delle loro proprietà geometriche e composizionali. Partendo da un'analisi teorica bidimensionale di strutture metalliche multilayer composte da film sottili di oro e cobalto, si è passati alla realizzazione di opportuni modelli tridimensionali, adatti allo studio delle proprietà magneto-plasmoniche di nanostrutture con geometrie multistrato (Nano-disk).

In Figura 2 è stata riportata una schematica rappresentazione del primo sistema analizzato mediante lo sviluppo di un modello FEM bidimensionale in grado di calcolare la risposta ottica e magneto-ottica di sistemi magneto-plasmonici. In particolare, il sistema in esame è costituito da un trilayer di Au/Co/Au già caratterizzato sperimentalmente utilizzando un banco MO-SPR basato sulla modulazione angolare della risonanza SPR. La risposta ottica e magneto-ottica del campione reale sono state sfruttate per ottimizzare il modello numerico sviluppato con Comsol Multiphysics.

Come è possibile notare nei grafici di Figura 2b,c la presenza dello strato ferromagnetico di Cobalto nella struttura è responsabile dell'attività magneto-ottica del sistema, che presenta un'elevata amplificazione nella regione angolare dove le condizioni di risonanza SPR sono soddisfatte. Tale risultato ha confermato la profonda connessione fra l'amplificazione dell'effetto TMOKE e l'eccitazione dei plasmoni di superficie su strutture multi-layer composte da metalli nobili e ferromagnetici.

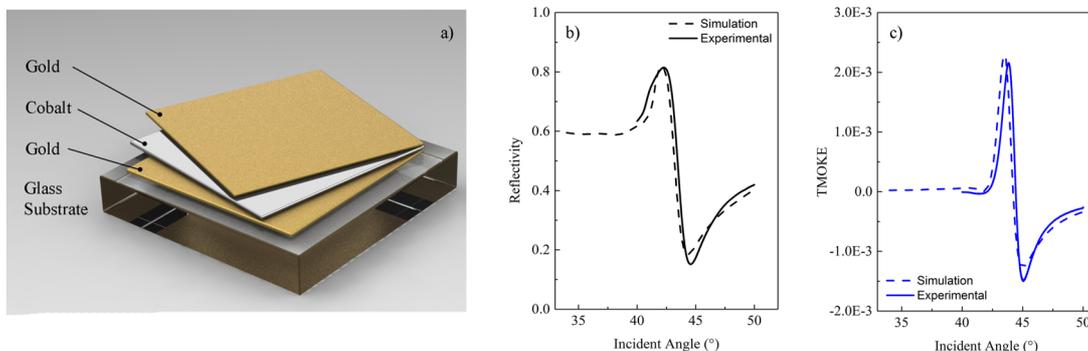


Figura 2 (a) Illustrazione del trasduttore MO-SPR analizzato composto da film sottile di Au/Co/Au; confronto dei dati teorici e sperimentali ottenuti per il sistema in esame ed in particolare dello spettro di Riflettività (b) e del segnale TMOKE (c) in modulazione angolare.

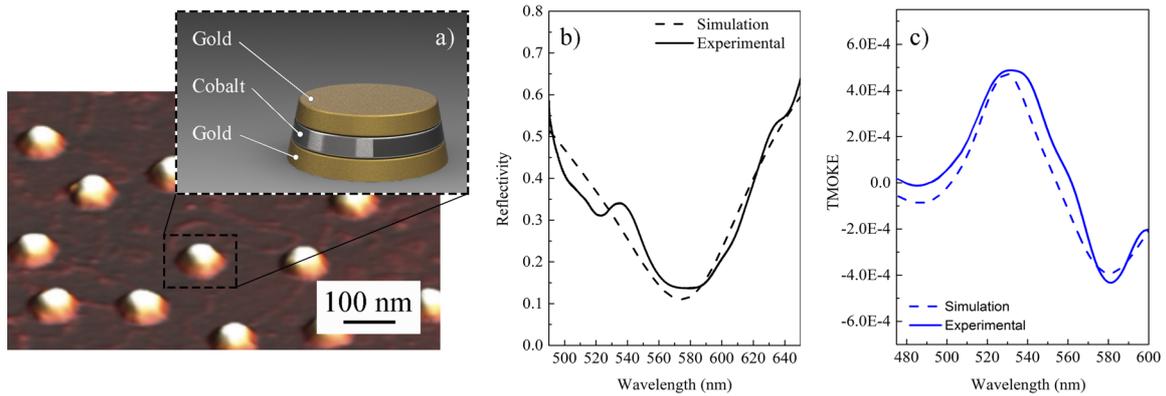


Figura 3 (a) Illustrazione del trasduttore MO-LSPR analizzato composto da un array disordinato di nano-dischi con struttura Au/Co/Au; confronto dei dati teorici e sperimentali ottenuti per il sistema in esame ed in particolare dello spettro di Riflettività (b) e del segnale TMOKE (c) in modulazione della lunghezza d'onda.

In seguito, analizzando particolari sistemi di nanoparticelle metalliche, è stato possibile confermare l'esistenza di effetti di accoppiamento magneto-plasmonici su materiali nanostrutturati. Nello specifico, è stato studiato un sistema composto da una distribuzione planare di nano-dischi multi-layer di oro e cobalto (Au/Co/Au), fabbricato mediante nano-litografia colloidale. Sviluppando un apposito modello FEM 3D è stato possibile confermare un'elevata amplificazione dell'effetto TMOKE anche su nanoparticelle magneto plasmoniche risonanti, ottenendo, anche in questo caso, un buon accordo con i risultati sperimentali (vedere Figura 3).

La nano-litografia colloidale è una tecnica particolarmente indicata per la creazione di strutture plasmoniche su larga area, e rappresenta una valida ed economica alternativa alle principali tecniche di deposizione litografiche (EBL, FIB). Per questo motivo, nell'ultima parte del periodo di soggiorno, ci si è proposti di acquisire maggiori conoscenze per la realizzazione di maschere colloidali adatte alla fabbricazione di sistemi nanostrutturati di varia natura, come ad esempio quelli riportati in Figura 4.

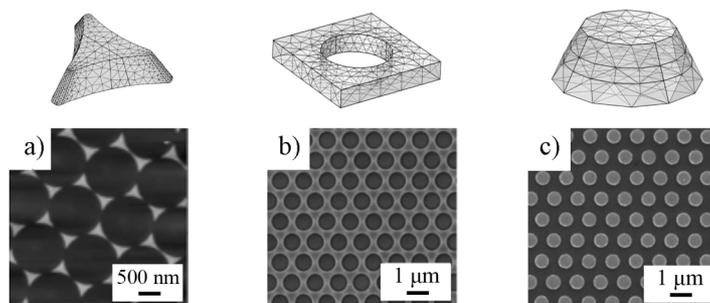


Figura 4 Distribuzione ordinata di (a) nano-triangoli, (b) nano-buchi e (c) nano-dischi fabbricati mediante nano-litografia colloidale insieme alle rispettive geometrie utilizzate per la simulazione delle loro proprietà ottiche.