

MODELLI CIRCUITALI PER LO STUDIO DI NANO-ANTENNE A FREQUENZE OTTICHE

Andrea Locatelli

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DII), Università di Brescia
Via Branze 38, 25123, Brescia

Lo studio di dispositivi “plasmonici”, ed in particolare di antenne operanti alle frequenze ottiche, è un argomento di fondamentale importanza per l'integrazione di funzionalità ottiche ed elettroniche sullo stesso circuito integrato. In questo ambito, il progetto delle strutture è spesso basato su simulazioni numeriche che prevedono la soluzione esatta delle equazioni di Maxwell, e quindi sono caratterizzate da tempi di calcolo ed occupazione di memoria troppo elevati. È naturale quindi che la comunità scientifica abbia manifestato grande interesse per lo sviluppo di modelli semplificati che permettano uno studio delle antenne ottiche accurato ma anche efficiente, in particolare cercando di estendere a frequenze nell'ordine dei terahertz tecniche che sono ben consolidate a radiofrequenza (RF).

L'attività di ricerca nell'ultimo anno si è concentrata sullo studio dell'antenna ottica più semplice, vale a dire il classico dipolo, a frequenze corrispondenti al visibile e al vicino infrarosso. In particolare, è stata proposta una procedura semi-analitica basata sulla soluzione dell'equazione di Pocklington, che permette di calcolare la distribuzione di corrente sull'antenna in modo molto efficiente [1]. Inoltre, i modelli circuitali che sono ampiamente usati a RF per lo studio di antenne in trasmissione e ricezione sono stati applicati per l'analisi degli effetti (in questo caso non trascurabili) dovuti all'introduzione dei terminali di alimentazione [1]. Il confronto tra i risultati forniti dal metodo semi-analitico, dai modelli circuitali e da simulazioni “full-wave” ha dimostrato l'accuratezza delle tecniche proposte [1].

È stata inoltre studiata la possibilità di sintonizzare la frequenza di funzionamento dei dipoli ottici agendo sia sui parametri geometrici della struttura [2] che utilizzando un controllo elettrico esterno a bassa frequenza [3]. Nel primo caso, è stato analizzato l'effetto dello spostamento dei terminali di alimentazione rispetto al centro della struttura, evidenziando come sia possibile sintonizzare le frequenze di risonanza senza variare la lunghezza del dipolo, e fornendo un semplice modello analitico che permette di prevedere la posizione dei picchi di risonanza supplementari introdotti dalla rottura della simmetria della struttura [2]. Nel secondo caso, è stato invece studiato il comportamento di un dipolo ottico immerso in un mezzo anisotropo (un cristallo liquido) caratterizzato da proprietà elettro-ottiche. Simulazioni “full-wave” hanno dimostrato che è possibile la sintonizzazione dell'antenna agendo sulla tensione a bassa frequenza applicata agli elettrodi della cella di cristallo liquido. Il modello circuitale del dipolo ottico è stato adattato al caso in questione, poiché le simulazioni mostrano come l'auto-impedenza di antenna rimanga pressoché costante al variare della tensione applicata, mentre il valore dell'impedenza di carico introdotta dai terminali di alimentazione vari considerevolmente. In effetti, il principale risultato derivante da questo studio è la dimostrazione di come sia possibile ottenere la sintonizzazione di un carico su scala nanometrica agendo su elettrodi con dimensioni micrometriche.

Infine, è stato aperto un nuovo filone di ricerca che punta alla realizzazione di celle solari innovative basate sul concetto di rectenna (rectifying antenna) ottica. Questo approccio permetterebbe di superare le limitazioni imposte dal principio di funzionamento delle

classiche celle fotovoltaiche in silicio, e si basa sulla possibilità di ricevere la radiazione termica emessa dalla Terra, che ha lunghezza d'onda nell'intorno di 10 micrometri (e quindi frequenza pari a 30 THz). Schiere di antenne opportunamente progettate potrebbero funzionare come superfici selettive in frequenza in grado di catturare, teoricamente, il 100% dell'energia nella banda di interesse. Un diodo MIM (metallo - isolante - metallo) dovrebbe essere integrato nei terminali di alimentazione di ogni antenna, permettendo la rettificazione ed il filtraggio della radiazione incidente, mentre la potenza generata in continua sarebbe prelevata mediante appositi contatti. In questo contesto, si è effettuato uno studio preliminare relativo all'impiego di antenne a monopolo planare per la cattura di radiazione termica, utilizzando i modelli per il diodo MIM che sono riportati in letteratura [4]. L'obiettivo è quello di massimizzare la tensione ai terahertz ai capi del diodo, in modo da incrementare la potenza in continua in uscita. Il lavoro verrà ulteriormente sviluppato nel prossimo anno approfondendo il problema del progetto del diodo stesso, e affrontando tutte le questioni (progetto della schiera, posizionamento dei contatti, ecc.) che devono essere risolte per concludere lo studio di fattibilità.

Referenze

- [1] A. Locatelli et al., "Modeling of enhanced field confinement and scattering by optical wire antennas", *Opt. Express* **17**, 16792 (2009).
- [2] A. Locatelli, "Analysis of the optical properties of wire antennas with displaced terminals", *Opt. Express* **18**, 9504 (2010).
- [3] C. De Angelis, A. Locatelli et al., "Frequency addressing of nano-objects by electrical tuning of optical antennas", *Journ. Opt. Soc. Am. B* **27**, 997 (2010).
- [4] M. Midrio, S. Boscolo, A. Locatelli et al., "Flared monopole antennas for 10 μm energy harvesting", *Proc. of the 40th European Microwave Conference*, Paris (France), October 2010.