

MODELLISTICA EM DI NANOTUBI DI CARBONIO PER INTERCONNESSIONI DI PROSSIMA GENERAZIONE

M. D'Amore, A.G. D'Aloia, M.S. Sarto, A. Tamburrano

Centro di Ricerca per le Nanotecnologie applicate all'Ingegneria della Sapienza (CNIS)
Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Sapienza Università di Roma
Via Eudossiana 18, 00184, Roma

L'esigenza di sviluppo di nuove tecnologie e materiali innovativi per la realizzazione di interconnessioni in circuiti integrati di prossima generazione è evidenziata a livello internazionale dalla ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors).

L'attività di ricerca del gruppo si inquadra appunto nel contesto del progetto europeo CATHERINE (Carbon nAnotube Technology for High-speed nExt-geneRation nano-InterconNEcts) ed è finalizzata alla modellistica e caratterizzazione elettromagnetica di nanointerconnessioni costituite da nanotubi di carbonio a multipla parete (MWCNT) cresciuti all'interno di membrane di allumina porosa.

La ricerca degli ultimi anni ha portato alla derivazione secondo il formalismo di guida d'onda elettronica di modelli a linea di trasmissione e all'analisi dell'integrità di segnale di interconnessioni a base di nanotubi di carbonio a singola parete (SWCNT), di fasci di SWCNT e MWCNT [1]-[10].

Di recente i ricercatori dell'unità hanno esteso l'analisi di un SWCNT in configurazione verticale descritta in [2] al caso di una via costituita da un MWCNT posto tra due piani perfettamente conduttori [14].

L'interesse dei ricercatori si è inoltre focalizzato sulla definizione di modelli equivalenti semplificati per lo studio delle proprietà di trasmissione di configurazioni complesse di nanotubi di carbonio (CNT) in grado di garantire risultati accurati in un largo intervallo di frequenze e ridurre l'onere computazionale [11], [12].

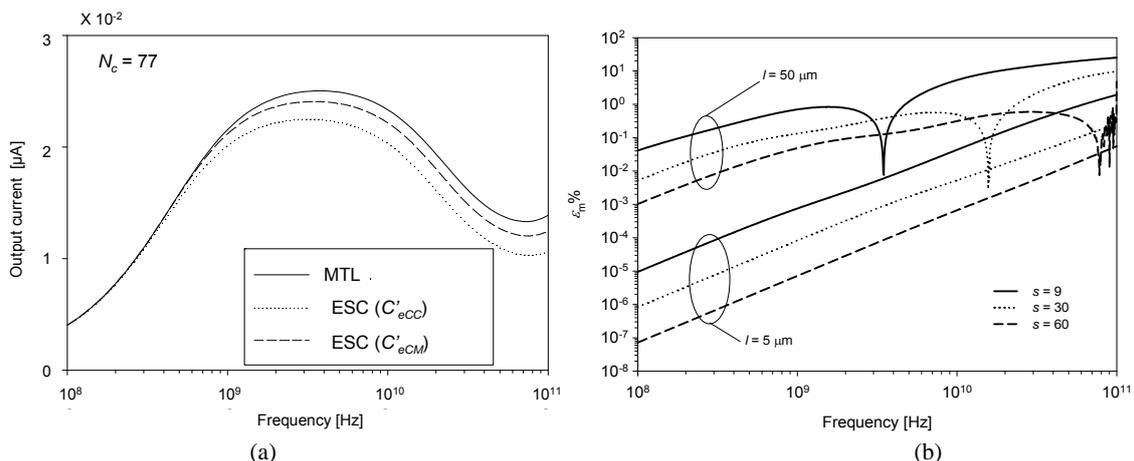


Figura 1: (a) Ampiezza della corrente in uscita da una interconnessione realizzata con un fascio di SWCNT costituito da $N_C = 77$ conduttori. Le curve si riferiscono alle soluzioni ottenute mediante il modello di linea di trasmissione multiconduttore (MTL) e il modello approssimato a conduttore singolo (ESC) considerando la capacità elettrostatica di modo comune o quella relativa al conduttore circoscrivente il fascio. (b): Errore percentuale del modulo della funzione di trasferimento ottenuta simulando con il metodo MTL e ESC un'interconnessione realizzata con un MWCNT. Le curve si riferiscono ai risultati ottenuti per diversi valori di lunghezza l e numero di pareti s del MWCNT.

Sono stati inoltre sviluppati modelli per il calcolo del campo vicino di nanointerconnessioni di CNT [15], e dell'impedenza p.u.l. di micro-conduttori a base di SWCNT e MWCNT per applicazioni in micro-induttori [16], [17].

In collaborazione con i ricercatori dell'Unità di Salerno è stato avviato uno studio atto a definire il livello di influenza dei principali parametri geometrici e fisici di un'interconnessione realizzata con fasci di SWCNT sul tempo di ritardo e sull'attenuazione ingresso-uscita di segnale, nonché l'effetto mutuo della variazione di ogni singolo parametro su tutti gli altri [13].

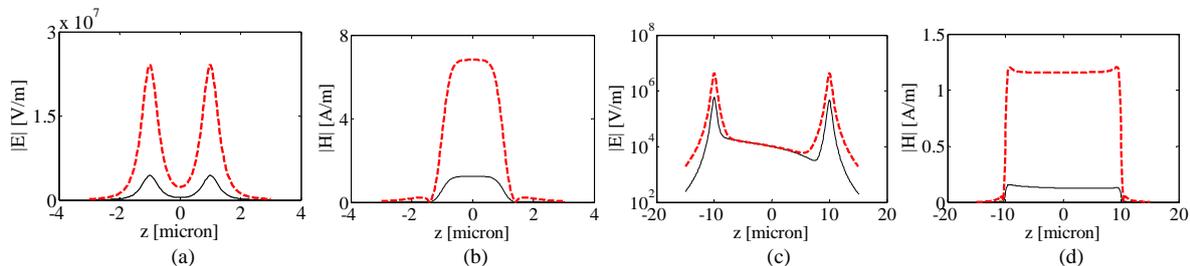


Figura 2: Ampiezza del campo elettrico $|E|$ e magnetico $|H|$ generati a 10 GHz da un fascio di 6 SWCNT metallici, posto a 100 nm al di sopra di un piano perfettamente conduttore (PEC). I risultati sono ottenuti all'altezza di $0.5 \mu\text{m}$ dal piano PEC, lungo un fascio costituito da 6 SWCNT alimentati in modo comune con una tensione di 0.1 V. I SWCNT sono caratterizzati da una lunghezza l e da un libero cammino medio $l_{mfp}=0.1 \mu\text{m}$ (linea continua) o $l_{mfp}=1 \mu\text{m}$ (linea tratteggiata); (a), (b): $l=2 \mu\text{m}$; (c), (d): $l=20 \mu\text{m}$.

Bibliografia

- [1] M. D'Amore, M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Signal carrying capability of nano-transmission lines", ICEAA 2005, Torino, Italy, Sett. 2005.
- [2] M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Electromagnetic modelling of vertical carbon nanotube interconnects", Int. Symp. on EMC - EMC EUROPE 2006, Barcelona, Sept. 2006.
- [3] M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Multiconductor transmission line modeling of SWCNT bundles in common-mode excitation", 2006 IEEE Int. Symp. on EMC, Portland (OR), Aug. 2006.
- [4] M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Electromagnetic analysis of radio-frequency signal propagation along SWCN bundles", Int. Symp. IEEE-NANO 2006, Cincinnati, July 2006.
- [5] M.S. Sarto, A. Tamburrano, M. D'Amore, "New Electron Waveguide Based Modelling for Carbon Nanotube Interconnects", IEEE Trans. on Nanotechnology, March, 2009.
- [6] M. D'Amore, M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Signal integrity of carbon nanotube bundles", 2007 IEEE International Symposium on EMC, Honolulu, July 8-12, 2007.
- [7] M. D'Amore, M.S. Sarto, A. Tamburrano "Transient analysis of crosstalk coupling between high-speed carbon nanotube interconnects", 2008 IEEE Int. Symp. on EMC, Detroit (MI), Aug. 2008.
- [8] M. D'Amore, M. Ricci, A. Tamburrano "Equivalent single conductor modeling of carbon nanotube bundles for transient analysis of high-speed interconnects", Int. Symp. IEEE-NANO 2008, Arlington (TX), Aug 2008.
- [9] M. D'Amore, M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Modelling of multiwall carbon nanotube transmission lines", ICEAA 2007, Torino, Italy, Sett. 2007.
- [10] M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Equivalent Circuit Model of MWCNT Nanointerconnects", Int. Symp. IEEE-NANO 2008, Arlington (TX), Aug 2008.
- [11] M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Single-Conductor Transmission Line Model of Multiwall Carbon Nanotubes", IEEE Trans. on Nanotechnology, vol. 9, No. 1, Jan. 2010.
- [12] M.S. Sarto, A. Tamburrano, and A. D'Aloia, "Equivalent effective p.u.l. parameters for reduced order circuit of SWCNT bundle interconnects", Int. Symp. IEEE-NANO 2009, Genova, Italy.
- [13] P. Lamberti, M.S. Sarto, A. Tamburrano, and V. Tucci, "Impact of physical parameters on time-delay performances of CNT-based interconnects", Int. Symp. IEEE-NANO 2009, Genova, Italy
- [14] M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Multiwall carbon nanotube vias: an effective TL model for EMC oriented analysis", 2009 IEEE Int. Symp. on EMC, Austin (TX), USA.
- [14] M.S. Sarto, A. Tamburrano, "Multiwall carbon nanotube vias: an effective TL model for EMC oriented analysis", 2009 IEEE Int. Symp. on EMC, Austin (TX), USA.
- [15] M. D'Amore, M.S. Sarto, A. G. D'Aloia, "Equivalent Single Conductor for Modeling Near Field Radiated Emission of Carbon Nanotube Bundles", Int. Symp. IEEE-NANO 2009, Genova, Italy.
- [16] M. D'Amore, M.S. Sarto, A.G. D'Aloia, "Skin-Effect Modeling of Carbon Nanotube Bundles: The High-Frequency Effective Impedance", 2010 IEEE Int. Symp. on EMC, July, Fort Lauderdale, Florida, USA.
- [17] M. D'Amore, A.G. D'Aloia, M.S. Sarto, "High-Frequency Effective Impedance Of Micro-Wires Based On Carbon Nanotube Technology", EMC Europe 2010, September 13-17, Wroclaw, Poland.