

CIRCUITO EQUIVALENTE E PROPRIETA' DI TRASMISSIONE DI NANOSCHERMI AL GRAFENE

Giampiero Lovat

Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica
Università "Sapienza" di Roma
Via Eudossiana 18, 00184 Roma

Il grafene è la versione bidimensionale della grafite e uno dei materiali più promettenti per le future applicazioni micro- e nano-tecnologiche a causa delle sue proprietà meccaniche eccellenti e la capacità di sopportare correnti estremamente elevate [1]. Fondamentalmente, il grafene è costituito da uno strato di atomi di carbonio disposti in un reticolo esagonale. Solo recentemente è stato possibile isolare dei singoli strati di grafene: da allora molti gruppi di ricerca in tutto il mondo stanno lavorando per un rapido sviluppo di questa tecnologia [2].

Dal punto di vista elettronico, il grafene è un semiconduttore a zero bandgap la cui conducibilità può essere controllata per mezzo di campi elettrostatici e/o magnetostatici attraverso, rispettivamente, gli effetti di campo elettrico e l'effetto Hall [3], [4]; tuttavia, rispetto ad altri metalli di spessore atomico, il grafene è termodinamicamente stabile e possiede una conducibilità minima anche nel limite di concentrazione di portatori nulla [5].

Dal punto di vista elettromagnetico, il grafene può essere descritto come uno strato infinitesimamente sottile di materiale caratterizzato da una conducibilità superficiale. Un modello matematico per tale conducibilità può essere ottenuto attraverso un approccio quanto-elettrodinamico e può tener conto dei campi di alimentazione sia elettrostatici sia magnetostatici [6]. In particolare, in presenza di entrambi i campi, la conducibilità del grafene è fortemente anisotropa ed è pertanto descritta da un tensore di conducibilità [7]. Inoltre, a partire dalle frequenze dell'ordine del THz, possono insorgere importanti effetti di dispersione spaziale che richiedono, per una loro corretta descrizione, un modello anisotropo anche in assenza di campi statici di alimentazione [8].

Partendo dalle equazioni di Maxwell e dal modello anisotropo della conducibilità del grafene, abbiamo pertanto derivato il relativo circuito equivalente da utilizzare nel classico modello a linea di trasmissione per l'analisi dell'efficienza di schermatura di schermi planari [9]. Tale circuito equivalente può essere facilmente utilizzato per studiare le proprietà di schermatura del grafene sotto incidenza di onda piana in differenti configurazioni: in assenza di campi statici di alimentazione, in presenza di un campo elettrostatico e/o di un campo magnetostatico, e infine anche in presenza di strutture multistrato di supporto di spessori nanometrici. Inoltre il circuito equivalente derivato permette di studiare facilmente l'interazione dello strato di grafene con sorgenti finite elementari poiché semplifica notevolmente il calcolo delle relative funzioni di Green diadiche.

Nel caso più generale (ossia in presenza di entrambi i campi elettrostatici e magnetostatici) il circuito equivalente è una rete quattro-porte con generatori controllati che accoppiano le polarizzazioni fondamentali TE e TM. Abbiamo allora messo in evidenza come l'utilizzo di campi statici permetta il controllo elettronico della conducibilità (e pertanto un controllo

elettronico della schermatura), mentre l'accoppiamento delle polarizzazioni suggerisce l'uso del grafene come rotatore di polarizzazione. Inoltre, a dispetto dello spessore atomico del materiale, si possono ottenere valori significativi dell'efficienza di schermatura su un ampio intervallo di frequenze.

Bibliografia

- [1] A. K. Geim e K. S. Novoselov, "The rise of graphene", *Nature Materials*, **6** (2007).
- [2] A. K. Geim, "Graphene: Status and prospects", *Science*, **324** (2009).
- [3] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva e A. A. Firsov, "Electric field effect in atomically thin carbon films", *Science*, **306** (2004).
- [4] Y. Zhang, Y.-W. Tan, H. L. Stormer e P. Kim, "Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene", *Nature*, **438** (2005).
- [5] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, M. I. Katnelson, I. V. Grigorieva, S. V. Dubonos e A. A. Firsov, "Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene", *Nature*, **438** (2005).
- [6] M. Dressel e G. Grüner, *Electrodynamics of Solids*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 2002.
- [7] V. P. Gusynin, S. G. Sharapov e J. P. Carbotte, "Magneto-optical conductivity in graphene", *Journal of Physics: Condensed Matter*, **19** (2007).
- [8] G. W. Hanson, "Dyadic Green's functions for an anisotropic non-local model of biased graphene", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **56** (2008).
- [9] S. Celozzi, R. Araneo e G. Lovat, *Electromagnetic Shielding*. Hoboken: Wiley-IEEE, 2008.