

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Ufficio Accordi e Relazioni Internazionali

P.le Aldo Moro, 7

00185 ROMA

Programma di breve mobilità "*Short Term Mobility*" sul tema: Study of novel high efficiency organic photovoltaic devices using plasmonic metallic nanostructures

La sottoscritta Barbara Paci, ricercatrice presso l'Istituto di Struttura della Materia (I.S.M.) di Roma, presenta la relazione della attività scientifica svolta, nell'ambito del programma di mobilità, in collaborazione con il Prof. Emmanuel Kymakis presso il Technological Educational Institute (T.E.I) of Crete, Heraklion, Greece.

L'attività presso il T.E.I. ha avuto come scopo lo studio di celle solari organiche contenenti nanoparticelle plasmoniche ed ha riguardato, in particolare, la deposizione dei vari costituenti del dispositivo, l'ottimizzazione delle proprietà del film attivo e lo studio delle caratteristiche fotovoltaiche.

Il solare è una delle fonti rinnovabili di maggiore rilevanza. Negli ultimi anni grande interesse è stato dedicato al fotovoltaico organico, che permette di ottenere una conversione a basso costo ed eco-sostenibile dell'energia del sole. Un notevole passo avanti nella efficienza si è ottenuto con i dispositivi a *bulk heterojunction* [1], nei quali un materiale accettore, tipicamente PCBM ([6-6]-phenyl C61 butyric acid methyl ester) è distribuito all'interno della matrice di un materiale donore, tipicamente un polimero coniugato come il P3HT (poly(3-hexylthiophene)). Quest'ultimo sistema ha raggiunto ad oggi le migliori efficienze [2].

Il punto critico resta il miglioramento delle efficienze e della durata di vita dei dispositivi. In questo ambito, il ruolo del film organico, elemento attivo del dispositivo, è cruciale. In particolare le proprietà strutturali e morfologiche sono fondamentali per ottimizzare tanto l'assorbimento della luce solare quanto la mobilità delle lacune, aspetti fondamentali per una buona efficienza [3-7].

Un approccio innovativo consiste nello studio di dispositivi organici utilizzando nanostrutture metalliche plasmoniche [8].

L'attività di ricerca presso il T.E.I. ha riguardato, dunque, l'indagine dei vari aspetti che concorrono all'incremento di efficienza in questi nuovi dispositivi. In particolare, nanoparticelle metalliche (Nps) sono state incorporate all'interno dello strato foto-attivo, al fine di ottenerne un migliore assorbimento della luce, grazie ad un effetto di risonanza plasmonica di superficie. Come conseguenza, ci si aspetta una più alta corrente di corto circuito ed un relativo aumento di efficienza.

In dettaglio, nanoparticelle di oro ed argento sono state prodotte per ablazione laser ultraveloce in liquido e sono state incorporate in film attivi di P3HT:PCBM. La procedura di deposizione dei vari strati costituenti il dispositivo è stata condotta seguendo i protocolli standard. La struttura finale delle celle è la seguente: vetro/ITO/PEDOT:PSS/active layer/Al.

La figura 1 riassume i risultati ottenuti su dispositivi non ottimizzati, durante irraggiamento con simulatore di spettro solare continuo AM1.5 ($100\text{mW}/\text{cm}^2$) in aria.

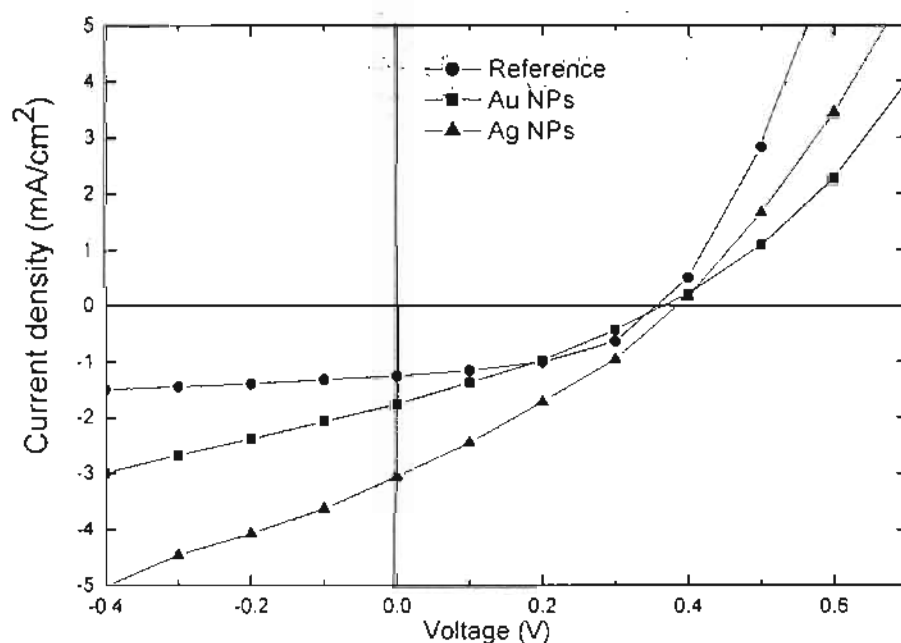


Figura 1

Il confronto tra i parametri fotovoltaici del dispositivo di riferimento, avente come elemento attivo il film di P3HT:PCBM, privo di nanoparticelle, e quelli di celle contenenti, rispettivamente, nanoparticelle di oro e di argento è riportato in tabella I.

Device Structure PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/AI	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
Reference	1,25	0,36	0,43	0,19
Au NPs	1,76	0,37	0,3	0,20
Ag NPs	3,05	0,39	0,29	0,34

Tabella I

I risultati, estremamente incoraggianti, mostrano un aumento di efficienza per i dispositivi plasmonici.

A questo punto si è proceduto ad uno studio sistematico dei parametri che influenzano le caratteristiche morfologiche del film attivo al fine di ottimizzare l'efficienza del dispositivo. Utilizzando procedure di annealing si è raggiunta una efficienza di quasi un ordine di grandezza superiore rispetto al dispositivo di riferimento. I risultati sono riportati in figura 2.

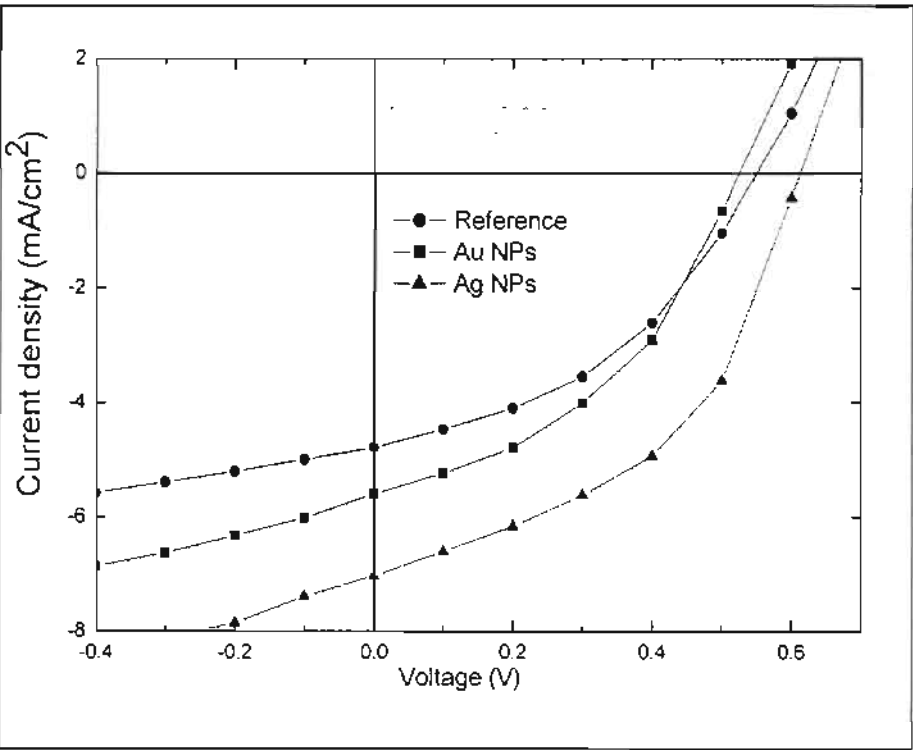


Figura 2

I parametri fotovoltaici sono riportati in tabella II.

Device Structure PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
Reference	4,78	0,55	0,4	1,05
Au NPs	5,6	0,52	0,42	1,22
Ag NPs	7,03	0,61	0,48	2,06

Tabella II.

In questo caso, i risultati mostrano un netto miglioramento dell'efficienza nel caso delle celle con film attivo contenente nanoparticelle di Ag ed Au. In particolare, nel caso di nanoparticelle di Au, l'efficienza risulta quasi raddoppiata.

Altro elemento critico è la stabilità del dispositivo in aria durante il funzionamento. Al fine di studiare l'invecchiamento della cella sono state effettuate misure di aging durante irraggiamento con simulatore di spettro solare continuo AM1.5 (100mW/cm²) in aria. La figura 3 riporta i risultati per la cella di riferimento, con elemento attivo privo di nano particelle.

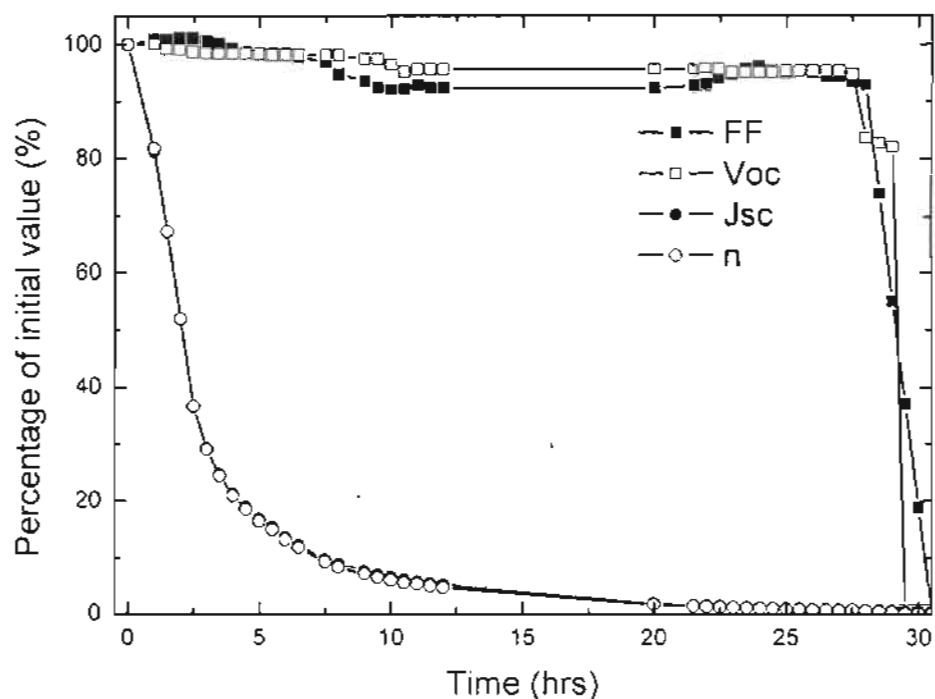


Figura 3

Dopo sole 8 ore di esposizione la cella ha raggiunto meno del 10% della sua efficienza iniziale.

Viceversa, nel caso nanoparticelle di Au, il dispositivo risulta avere una durata di vita molto migliore e l'efficienza scende sotto il 10% solo dopo 25 ore.

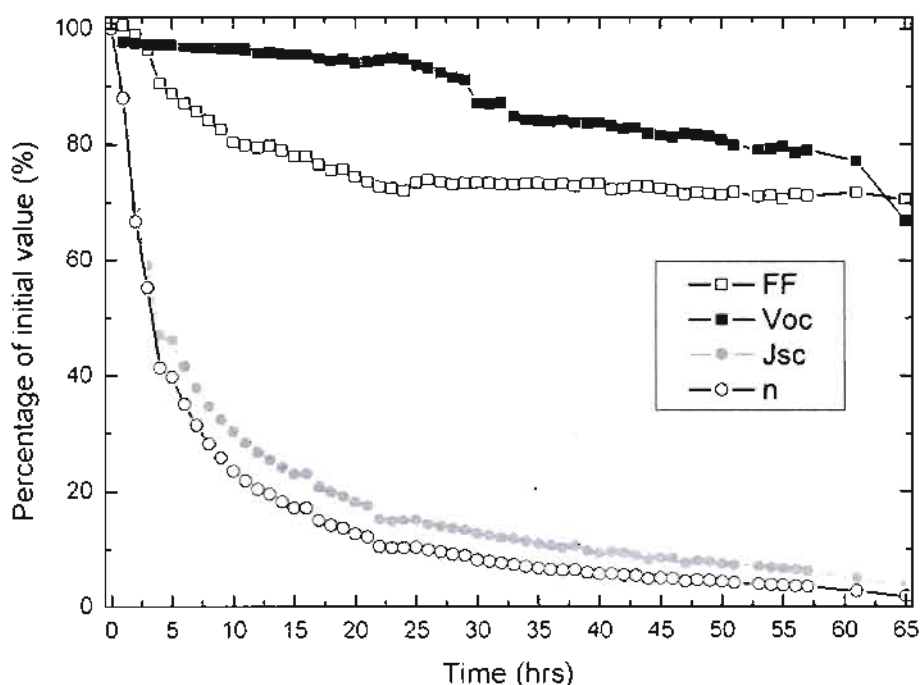


Figura 4

In conclusione i risultati validano l'utilizzo, di nanoparticelle plasmoniche per affrontare entrambi i punti critici del fotovoltaico organico: efficienza e durata di vita.

Al fine di comprendere l'origine dei fenomeni di invecchiamento osservati, questi dati saranno confrontati con misure complementari *in-situ* delle variazioni morfologiche del film attivo, durante l'esposizione alla luce, sfruttando le potenzialità offerte dal laboratorio di Raggi-X in Dispersione di Energia dell' *Istituto di Struttura della Materia* del CNR.

L'insieme dei risultati sarà oggetto di pubblicazione su riviste internazionali.

Bibliografia

- [1] N. S. Sariciftci, L. Smilowitz, A. J. Heeger, F. Wudl, *Science*, 258, 1474, 1992.
- [2] K. Kim, J. Liu, M. A. G. Namboothiry, D.L. Carroll, *Appl. Phys. Lett.*, 90, 163511, 2007.
- [3] B. Paci, A. Generosi, V. Rossi Albertini, R. Generosi, P. Perfetti, R. de Bettignies, C. Sentein, *J. Physical Chemistry C*, 112 (26), 9931, 2008.
- [4] B. Paci, A. Generosi, D. Bailo, V. Rossi Albertini, R. deBettignies, *Chemical Physics Letters*, 494, 69–74 (2010).B
- [5] B. Paci, A. Generosi, V. Rossi Albertini, R. De Bettignies, *J. Phys. Chem. C*, 113 (45), 19740, 2009.
- [6] T. Erb, U. Zhokhavets, G. Gobsch, S. Refiya, B. Stühn, P. Schilinsky, C. Waldauf, C.J. Brabec, *Adv. Funct. Mater.*, 15, 1193, 2005.
- [7] G. Yu, J. Gao, J. C. Hummelen, F. Wudl, A. J. Heeger, *Science*, 270, 1789, 1995 [8] T. Erb, U. Zhokhavets, G. Gobsch, S. Refiya, B. Stühn, P. Schilinsky, C. Waldauf, C.J. Brabec, *Adv. Funct. Mater.*, 15, 1193, 2005.
- [8] A.J. Morfa, K.L. Rowlen, T.H. Reilly, M.J. Romero, J. van de Lagemaat, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, , pp. 013504, 2008

Cordiali Saluti

Il Fruitore

Barbara Paci



Il proponente

Valerio Rossi Albertini

