

SPETTROSCOPIA DI FOTOTENSIONE SUPERFICIALE DI DISPOSITIVI A FILM SOTTILE CIGS

N. E. Gorji, U. Reggiani, L. Sandrolini

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione
Università di Bologna - Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna - nima.eshaghigorji2@unibo.it

Parole chiave: celle solari a film sottile, CIGS, SPV analisi.

L'energia di gap e i livelli elettronici in un dispositivo a film sottile del tipo Cu(In,Ga)S₂ (CIGS) possono essere analizzati usando la tecnica della spettroscopia di fototensione superficiale (Surface Photovoltage Spectroscopy, SPS o SPV). Tale tecnica è un metodo non distruttivo, ma molto preciso, per estrarre sia l'energia di gap di dispositivi a film sottile sia i livelli di energia dei difetti superficiali o profondi distribuiti sulla superficie o nella massa del materiale [1]. Inoltre, questa tecnica può caratterizzare l'effetto dei bordi dei grani e dell'elettronica di superficie che sono gli aspetti critici di tali materiali policristallini. L'analisi condotta con questa tecnica si basa sulla misura del segnale SPV (che è una variazione del potenziale di superficie indotta dalla luce) in funzione dell'energia del fascio di fotoni incidente [2].

Nell'ambito della ricerca sulle celle solari a film sottile in corso nel Dipartimento la tecnica SPV potrebbe essere utilizzata per estrarre l'energia graduata di gap di dispositivi fabbricati con profili simili a quelli proposti e simulati in passato [3], confrontando in tal modo i valori calcolati con quelli estratti. Nell'attività di ricerca svolta durante l'ultimo anno questo metodo è stato applicato per analizzare una cella solare CIGS/CdS. Ad energie dei fotoni $h\nu$ prossime al valore di energia di gap E_g il segnale SPV dovrebbe aumentare rapidamente fino ad un valore di saturazione ed E_g dovrebbe corrispondere all'energia del ginocchio della curva SPV in funzione dell'energia dei fotoni. A volte, come nel caso riscontrato in questa ricerca, si osserva nella curva un picco piuttosto che un ginocchio a causa della ricombinazione elettrone-lacuna in superficie che riduce fortemente il segnale SPV per $h\nu < E_g$. Pertanto, ad energie dei fotoni prossime a E_g , coppie elettrone-lacuna vengono generate nello strato vicino alla superficie dove principalmente si ricombinano per l'alta densità disponibile degli stati di superficie e quindi il segnale SPV risultante diminuisce. Quindi, nello spettro SPV solo i picchi relativi alle superfici possono fornire il valore reale di E_g , che è pari a 1,12 eV per celle CIGS e per misure che impiegano una griglia B (1500 linee/ μm). Per valori di energia dei fotoni $h\nu > E_g$, il segnale inizia a diminuire a causa della ricombinazione in superficie elettrone-lacuna, e poi aumenta di nuovo fino ad un massimo in corrispondenza di $h\nu = 1,3$ eV. Il valore di energia di gap misurato nelle prove condotte è in accordo con i valori esposti in [4].

Lo spettro SPV normalizzato ai valori massimi è riportato in Fig. 1. Esso non mostra alcun segnale SPV per $h\nu < 1,11$ eV, mentre si ha un segnale per valori superiori di $h\nu$. Le misure con una griglia B sono state eseguite per $h\nu = 0,8-1,4$ eV. La prima brusca salita è intorno a 1,1-1,2 eV. Mediante un'analisi quantitativa di tale spettro, E_g è stato stimato estrapolando la parte lineare della curva fino alla sua intersezione con l'asse dell'energia dei fotoni. Si ottiene in questo modo un valore $E_g = 1,12$ eV (Fig. 1, lato sinistro). L'impiego di una griglia A (300 linee/ μm) ha permesso di misurare il massimo valore di E_g nell'intervallo di energia dei fotoni considerato, che è uguale a $E_g = 2,6$ eV (Fig. 1, lato destro). Ora, l'aumento del segnale SPV indica che l'energia dei fotoni può eccitare i portatori di carica e

modificare la curvatura della banda di superficie. L'eccitazione avviene dopo 2,7 eV e un brusco ginocchio si nota fino a 3 eV. Un'estrapolazione lineare della curva fornisce $E_g=2,6$ eV relativo allo strato finestra CdS.

In sintesi, l'energia graduata di gap di una cella solare calcopirite CIGS è stata studiata mediante la tecnica della spettroscopia di fototensione superficiale. L'intervallo dell'energia graduata di gap è dedotto da un singolo segnale SPV 1,12-1,25 eV che è accettabile per la concentrazione In/Ga $\approx$ 0,3. Lo strato CdS presenta un'energia di gap di 2,6 eV in accordo con i valori reperibili in letteratura.

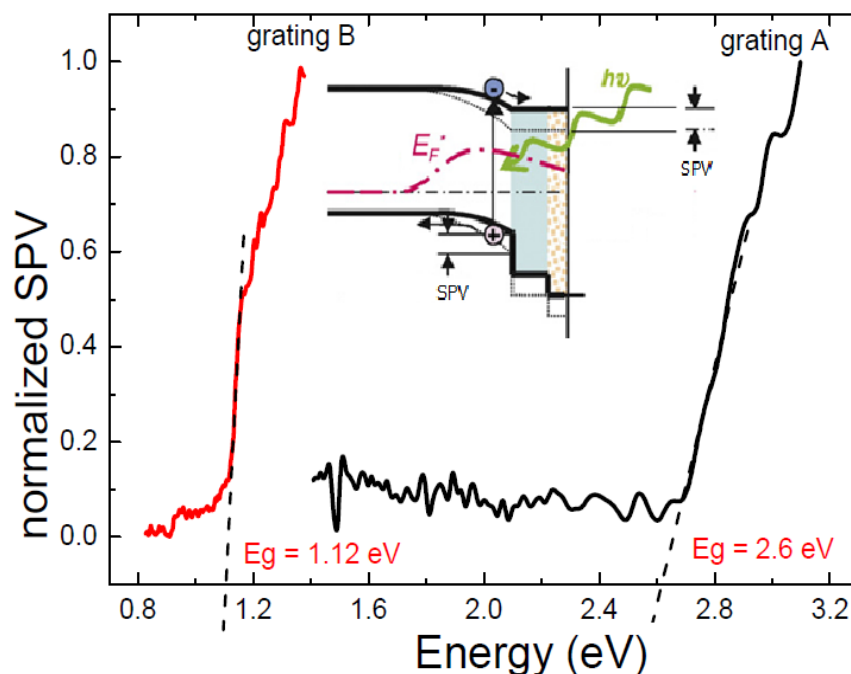


Fig. 1. Spettro normalizzato del segnale SPV vs. energia dei fotoni incidenti attraverso due diverse griglie (A e B). Il riquadro mostra il meccanismo SPV.

BIBLIOGRAFIA

- [1] N. E. Gorji, U. Reggiani, L. Sandrolini, "A simple model for the photocurrent density of a graded band gap CIGS thin film solar cell", *Solar Energy*, vol. 86, pp. 920-925, 2012.
- [2] S. Pandey, D. Cavalcoli, A. Cavallini, "Band bowing and Si donor levels in InGaN layers investigated by surface photovoltage spectroscopy," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 102, pp. 142101-142104, 2013.
- [3] N. E. Gorji, U. Reggiani, L. Sandrolini, "Graded band gap CIGS solar cells considering the valence band widening," in *Proc. 38th IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, 2012, p. 000906-000908.
- [4] M. Pawłowski, P. Zabierowski, N. Barreau, "Influence of Ga-notch position on recombination processes in CIGS-based solar cells investigated by photoluminescence," *Thin Solid Films*, vol. 535, pp. 336-339, 2013.