

# Un approccio innovativo per migliorare l'effetto fotovoltaico nelle celle solari a film sottile CIGS

N. E. Gorji, M. D. Perez, U. Reggiani, L. Sandrolini

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università di Bologna,  
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Le celle solari a film sottile Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub> (CIGS) hanno un costo contenuto e potenzialmente un'efficienza elevata. L'efficienza record di circa il 19.9% è stata ottenuta in laboratorio [1]. Per migliorare le prestazioni del dispositivo, le proprietà elettriche ed ottiche della cella devono essere ottimizzate. Il band gap grading della cella solare è una soluzione efficace per ridurre le perdite per ricombinazione e per amplificare la raccolta dei portatori nella cella. La ricerca ha preso spunto dalle caratteristiche dei più recenti profili graded band-gap [2]. Mediante lo studio degli effetti di estensione delle bande di conduzione (CB) e di valenza (VB) sui parametri che definiscono le prestazioni della cella è stato proposto un nuovo profilo graded nel quale l'allargamento della band gap del materiale assorbitore è incluso sia nella banda CB che in quella VB. È stato inoltre studiato l'effetto benefico del CB grading del materiale finestra in prossimità della regione di interfaccia per incentivare il trasferimento di carica e la passivazione nella cella.

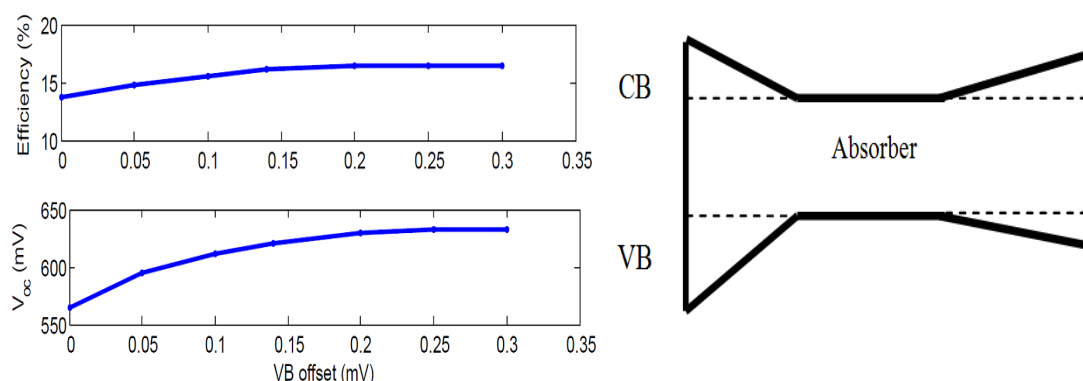
*Grading normale:* in questo caso, la banda CB del materiale assorbitore cresce linearmente verso la parte posteriore del contatto e crea un gradiente del campo elettrico attraverso la cella. Pertanto, nella parte posteriore del contatto il tasso di ricombinazione diminuisce e la tensione a circuito aperto ( $V_{oc}$ ) aumenta, provocando un leggero aumento dell'efficienza. Sfortunatamente, la densità di corrente di corto circuito ( $J_{sc}$ ) decresce linearmente con l'aumento lineare della band gap poiché il coefficiente di assorbimento, che dipende dalla posizione, diminuisce.

*Grading inverso:* la band gap del materiale assorbitore decresce linearmente verso il contatto posteriore, la tensione  $V_{oc}$  della cella è elevata a causa della band gap estesa e del minor tasso di ricombinazione. In questo profilo, la densità di corrente  $J_{sc}$  aumenta stabilmente per l'aumento dell'assorbimento; tuttavia  $J_{sc}$  non è significativa a causa della ridotta probabilità di raccolta di elettroni condizionata da un campo elettrico inverso nella cella.

*Doppio grading:* in questo profilo, la band gap del materiale assorbitore diminuisce dalla superficie frontale fino a raggiungere un minimo per poi aumentare di nuovo verso il contatto posteriore. Il grading frontale respinge i portatori di carica minoritari dall'interfaccia e il grading posteriore aumenta la band gap che incentiva la raccolta dei portatori. Pertanto, l'efficienza e l'assorbimento della luce dipendente dalla posizione migliorano ed aumenta la densità di corrente  $J_{sc}$ .

Un'altra possibilità consiste nel grading della banda VB del materiale assorbitore. In questo caso, si può abbassare la corrente di saturazione e aumentare il trasferimento delle lacune nei bordi del materiale assorbitore. In questi casi, la band gap del materiale assorbitore alla

superficie della cella è almeno di 0.1 eV maggiore di quella della regione interna. Per esempio, questa variazione nella banda VB può essere prodotta da fasi superficiali povere di rame (cioè da  $\text{Cu}(\text{In,Ga})_3\text{Se}_5$  o da grading intenzionale  $\text{Ga}/\text{In}/\text{Se}/\text{S}$ ). L'allargamento della banda VB è efficace sui principali parametri della cella, ove  $V_{oc}$  aumenta allargando la barriera nella parte alta della superficie. Questo è dovuto alla concentrazione delle lacune che è un fattore limitante il tasso di ricombinazione sulla superficie della giunzione e può essere controllato dal VB grading. Quando un numero di lacune sufficienti è presente all'interfaccia, esso può limitare  $V_{oc}$ . Le curve (Fig. 1, sinistra) mostrano che l'allargamento della banda VB migliora i parametri della cella riducendo la perdita dei portatori e l'esaurimento delle lacune nelle regioni superficiali.



**Figura. 1: Effetto dell'offset della VB sui parametri della cella (a sinistra) e profilo proposto (destra).**

Pertanto, in base all'analisi esposta, è stato sviluppato un nuovo profilo graded migliorato (Fig. 1, destra) che tiene conto delle variazioni reali su entrambe le bande VB e CB [3]. Sulla regione frontale di questo profilo l'estensione della banda VB porta ad un esaurimento delle lacune come fattore che limita  $V_{oc}$ ; il grading della banda CB riduce il tasso di ricombinazione dei portatori all'interfaccia. Nella regione posteriore, il grading della banda VB migliora il trasferimento dei portatori maggioritari e la banda CB aumenta la probabilità di raccolta dei portatori che contribuiscono alla corrente. Inoltre, questo profilo può definire meglio le variazioni del grading sulle bande VB e CB. È stata poi esaminata la possibilità di ricorrere al grading della regione frontale della finestra per migliorare il trasferimento degli elettroni provenienti dal materiale assorbitore. Questo è un aspetto peculiare delle prestazioni delle celle CIGS dove l'offset della banda CB tra lo strato finestra e quello assorbitore all'interfaccia può influenzare il flusso degli elettroni dal materiale assorbitore allo strato finestra.

- [1] I. Repins, M. A. Contreras, B. Egaas, C. Dehart, J. Scharf, C. L. Perkins, B. To and R. Noufi, "19.9%-efficient  $\text{ZnO}/\text{CdS}/\text{CuInGaSe}_2$  Solar Cell with 81.2% Fill Factor," *Progress in Photovoltaics*, 2008, Vol. 16, pp. 235–239.
- [2] R. Scheer, H. W. Schock, "Chalcogenide Photovoltaics; Physics, Technology, and Thin Film Devices" *Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2011*, pp. 34-36.
- [3] N. E. Gorji, M. D. Perez, U. Reggiani, L. Sandrolini, "A New Approach to Valence and Conduction Band Grading in CIGS Thin Film Solar Cells", in *Proc. 2011 International Conference on Power and Energy Systems (ICPES 2011)*, Chengdu, China, June 10-12, 2011.