

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE

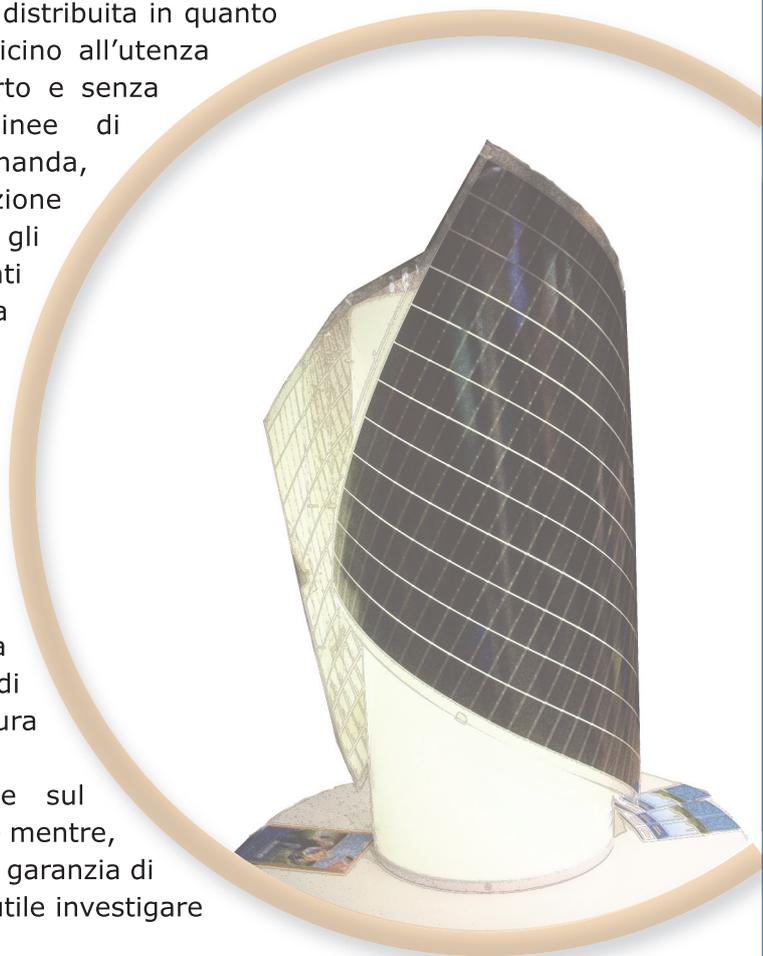
Tema di ricerca 5.2.5.3 - Sviluppo di tecnologie avanzate per componenti fotovoltaici innovativi

Scenario di riferimento

La tecnologia fotovoltaica può dare un contributo importante nella transizione strategica che il Paese deve compiere verso un mix di fonti di energia con un maggior peso delle rinnovabili: il Piano di azione nazionale elaborato dal Ministero dello sviluppo economico punta in particolare al raggiungimento di 8.000 MWp di potenza fotovoltaica installata per il 2020. Questa tecnologia presenta molteplici vantaggi: trasforma l'energia solare in energia elettrica immediatamente usufruibile; è ideale per realizzare il nuovo modello di generazione distribuita in quanto l'energia elettrica può essere prodotta vicino all'utenza senza generare perdite legate al trasporto e senza richiedere maggior capacità delle linee di trasmissione; sopperisce ai picchi di domanda, specialmente quelli dovuti alla climatizzazione degli ambienti nel periodo estivo. Inoltre gli impianti presentano alta affidabilità, limitati costi di esercizio e manutenzione, e vita operativa che supera i 25 anni.

La capacità di penetrazione di questa tecnologia ha però ancora dei limiti, a causa soprattutto degli alti costi di produzione dei moduli fotovoltaici. L'abbassamento di tali costi a valori inferiori a 1 €/Wp è condizione necessaria affinché la tecnologia fotovoltaica possa affermarsi, in prospettiva anche senza incentivi, e contribuire alla quota di produzione di energia elettrica in misura sostanziale.

Le attività di ricerca sono focalizzate sul miglioramento delle tecnologie a film sottile mentre, per applicazioni speciali che non richiedano garanzia di funzionamento a lungo termine, si ritiene utile investigare soluzioni basate su celle organiche.



Obiettivi

Gli obiettivi principali del programma sono:

- il perfezionamento delle celle solari a film sottile di II generazione a base di silicio e CIS (copper indium diselenide) e la messa a punto delle relative tecnologie per applicazioni industriali nel breve-medio termine;
- lo sviluppo di nuovi materiali per celle solari di III generazione a base di quantum dot di silicio e polimeri.

Le principali tematiche di ricerca nel settore dei film sottili riguardano lo sviluppo di nuovi strati trasparenti e conduttivi e lo sviluppo di processi di produzione facilmente scalabili che assicurino migliore efficienza e stabilità dei dispositivi.

La giunzione tandem "micromorph", che utilizza silicio amorfo e microcristallino, è ritenuta una tra le strutture più promettenti e interessanti per l'industria in quanto presenta i vantaggi di una multigiunzione, in termini di stabilità e di utilizzo dello spettro solare, e una complessità non troppo elevata.

Migliorando l'intrappolamento della radiazione solare e sviluppando materiali con più elevati coefficienti di assorbimento aumenta l'efficienza di conversione, e diviene possibile limitare lo spessore dei dispositivi e ridurre i tempi di produzione. In una prospettiva di lungo termine si ritiene interessante esplorare la possibilità di impiegare materiali assorbitori nanostrutturati.

I moduli basati sui policristallini a film sottile CIS utilizzano materiali scarsamente disponibili ed è da sperimentare in particolare, conservando alti valori di efficienza, la sostituzione dell'indio con coppie di elementi dei gruppi II e IV della tavola periodica. Inoltre, poiché la famiglia dei composti $Cu_2-II-IV-VI_4$ presenta un ampio range di valori di gap, l'attività di ricerca potrà essere successivamente rivolta allo sviluppo di celle a multigiunzione di altissima efficienza e a basso costo. Le difficoltà di ottimizzazione per le celle policristalline con gap maggiori di 1,5 eV rendono questa ricerca ad alto rischio ma i possibili grandi vantaggi giustificano un impegno in questo settore.

Lo sviluppo di celle organiche è la strada da perseguire per arrivare a dispositivi di bassissimo costo, considerata l'economicità e abbondanza dei materiali precursori. La leggerezza e la flessibilità del componente fotovoltaico finale rendono tale tecnologia appetibile per prodotti speciali quali caricabatterie, alimentatori portatili per applicazioni militari ecc. Di contro è necessario definire materiali che garantiscano un'adeguata efficienza di conversione stabile nel tempo. Le attività proposte sono finalizzate al miglioramento dell'efficienza dei dispositivi e alla definizione

di una roadmap sulle potenzialità in termini di prestazioni e di riduzioni dei costi della tecnologia associata.

Risultati

Celle solari a film sottile di silicio

Le celle di tipo "micromorph" realizzate in ENEA hanno una struttura a doppia giunzione di tipo pin/pin con una cella posteriore di silicio microcristallino e una frontale di silicio amorfo. Queste sono depositate su substrati di vetro con la tecnica Very High Frequency - Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (VHF-PECVD), che permette elevate velocità di deposizione e conseguente riduzione dei tempi di lavorazione e dei costi associati. Sono stati sviluppati dispositivi tandem micromorfi con efficienze maggiori dell'11%; si è inoltre



Impianto per la deposizione di film sottili di silicio con tecnica VHF-PECVD

lavorato alla ottimizzazione di film di ZnO da utilizzare come contatto frontale nelle celle solari. Le attività in corso sono finalizzate allo studio di materiali che possano essere utilizzati come strati riflettori intermedi. Sono state indagate le potenzialità del nitruro e dell'ossido di silicio e quest'ultimo è risultato il candidato migliore in termini di proprietà elettriche e ottiche. Inserendo strati di ossido di silicio nei dispositivi tandem, si è ottenuto un migliore intrappolamento della radiazione solare nella cella top. Inoltre i film di ossido di silicio drogati n hanno mostrato interessanti applicazioni anche come strati alternativi nelle celle p-i-n. Per quanto riguarda le apparecchiature, è stato acquisito e installato un simulatore solare a doppia sorgente che consente di eseguire con maggiore cura le misure I-V sui dispositivi tandem che sono particolarmente sensibili alla distribuzione spettrale. Inoltre è stato implementato il laboratorio del laser scribing dove sono state acquisite una nuova sorgente laser, per il taglio del silicio e dei metalli, e le tavole di movimentazione per eseguire con maggiore accuratezza i tagli sui substrati.

È stata, inoltre, installata un'attrezzatura per effettuare i test previsti dalla norma EN 61646 sui moduli a film sottili al fine di verificarne le prestazioni a basso irraggiamento, l'esposizione prolungata alla luce (light-soaking) e la prova ai surriscaldamenti localizzati. I primi due test sono fondamentali per una corretta valutazione della producibilità dei moduli a film sottile tandem micromorfi. Per quanto concerne le attività sullo studio di materiali nanostrutturati da utilizzare come strati assorbitori innovativi, è stato avviato lo studio di film di nitruro di silicio a varia stechiometria depositati con tecnica PECVD. Sono stati studiati dei regimi di crescita che potessero consentire una separazione di fase con formazione di nanostrutture di silicio. Per favorire tale separazione sono stati inoltre eseguiti dei trattamenti termici, ottenendo una completa separazione di fase con formazione di dot cristallini alle più alte temperature utilizzate (1100 °C).

Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI

Per quanto riguarda le attività incentrate sullo sviluppo delle tecniche di deposizione del semiconduttore quaternario $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, sono in fase di allestimento alcune delle attrezzature sperimentali necessarie. È stato acquisito un sistema di sputtering per la deposizione di film sottili di molibdeno e altri metalli, di ossidi trasparenti e conduttori e di solfuri metallici. È stato allestito un forno di solforizzazione a tubo aperto per l'annealing dei film precursori composti da tre layer (ZnS/Sn/Cu) in presenza di zolfo. Sono stati depositati e caratterizzati film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$.



Simulatore solare a doppia sorgente (Xe, Alogena) per la corretta valutazione delle prestazioni di celle tandem micromorfe a film sottile di silicio

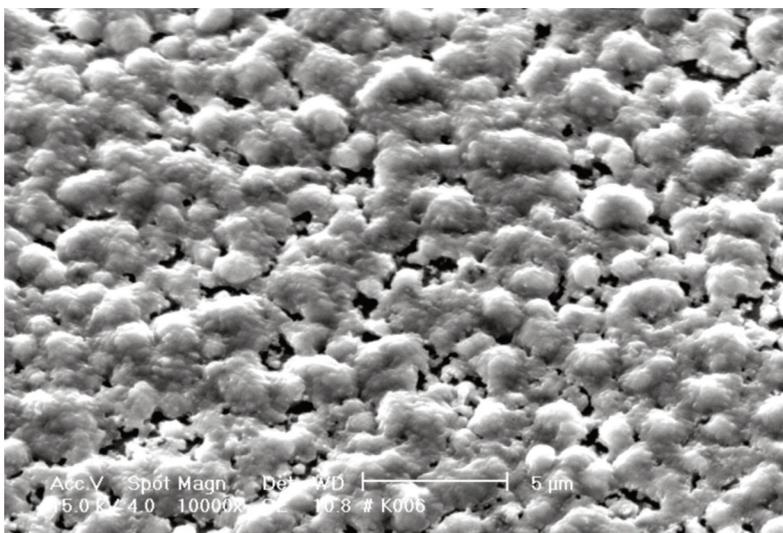


Immagine SEM di film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

I film cresciuti hanno un'ottima omogeneità e le misure di diffrazione X e di scattering Raman confermano la formazione di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ anche se in molti film sono presenti tracce di fasi spurie oltre a quella voluta. L'analisi SEM mostra una insufficiente compattezza del materiale e grani di dimensioni abbastanza ridotte. Questi problemi si riflettono in una bassa mobilità dei portatori maggioritari. È in corso di ottimizzazione la qualità di questi film al fine di ottenere materiali adeguati alla realizzazione di celle fotovoltaiche.

Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici

Nel campo delle celle polimeriche l'ENEA aveva inizialmente sviluppato, operando in aria con una miscela composta da un derivato del politiofene e un derivato del fullerene, dispositivi con un'efficienza dell'1,3% su area di circa 1 cm^2 . Tale risultato è stato migliorato integrando alcuni passi di processo in glove box e quindi operando sotto un'atmosfera inerte. Il valore di efficienza ottenuto è del 2,9%. È stato anche messo a punto un modello ottico per la progettazione dei dispositivi che consente di ottimizzare lo spessore dello strato attivo. Inoltre è stata allestita una linea sperimentale per la realizzazione di dispositivi in atmosfera controllata che sarà impiegata per la sperimentazione di nuovi materiali polimerici e ibridi.



Glove Box per lo sviluppo di celle solari polimeriche in ambiente privo di umidità e ossigeno



Attrezzatura per il light-soaking di moduli e dispositivi a film sottile con tecnica VHF-PECVD

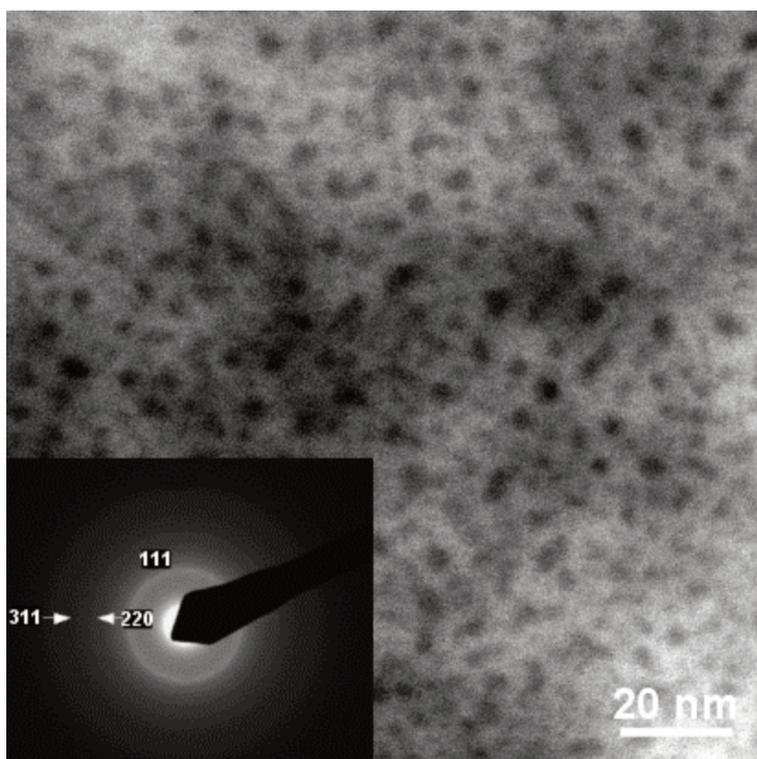


Immagine EFTEM della separazione di fase completa con formazione di Quantum Dot cristallini di Si

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.