



Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo di strati sottili di ossido trasparente e conduttivo e metallizzazioni per celle ad eterogiunzione silicio amorfo / silicio cristallino

Giampiero de Cesare, Luca Serenelli, Mario Tucci

SVILUPPO DI STRATI SOTTILI DI OSSIDO TRASPARENTE E CONDUTTIVO E METALLIZZAZIONI PER CELLE AD ETEROGIUNZIONE SILICIO AMORFO / SILICIO CRISTALLINO

Giampiero de Cesare¹, Luca Serenelli¹, Mario Tucci²

¹Università "La Sapienza" di Roma – Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

²ENEA – UTRINN FVC, Centro ricerche Casaccia

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Produzione di Energia Elettrica e Protezione dell'Ambiente

Progetto: Energia Elettrica da Fonte Solare – Ricerca su Celle Fotovoltaiche Innovative

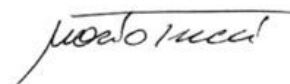
Obiettivo C: SVILUPPO DI CELLE A FILM SOTTILE DI SILICIO CRISTALLINO

Responsabile del Progetto: Paola Delli Veneri, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Nanostrutture auto-organizzate con funzionalità bio-mimetica per fotonica e fotovoltaico"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Mario Tucci



Responsabile scientifico Università di Genova: Prof. Giampiero de Cesare

Indice

| | |
|--|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE..... | 5 |
| 2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI..... | 5 |
| 2.1 TRASPARENZA E CONDUCIBILITÀ DEL FILM SOTTILE DI ITO..... | 5 |
| 2.2 TEMPERATURA DI DEPOSIZIONE DEL FILM DI ITO | 8 |
| 3 CONCLUSIONI..... | 13 |
| 4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 13 |
| 5 APPENDICE | 14 |

Sommario

Questo rapporto tecnico è relativo ad un contratto affidato dal ENEA UTRINN-FVC al Dipartimento di Ingegneria Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Nel presente lavoro viene preso in esame lo strato sottile di *Indium Tin Oxide* (ITO) da utilizzare nelle celle solari ad eterogiunzioni silicio amorfo / silicio cristallino (a-Si:H/c-Si). In particolare sono analizzate in dettaglio le proprietà principali del materiale ITO film sottile quali : la trasparenza, conducibilità e workfunction per trovare le migliori condizioni di deposizione dello strato stesso al fine di garantire una efficace raccolta delle cariche foto generate nella struttura di cella fotovoltaica ad eterogiunzione. In proposito è stata condotta un'attenta analisi delle condizioni di crescita del materiale a film sottile: ITO, facendo particolare riferimento alle condizioni di temperatura di deposizione del substrato. Si è infatti notato che questo parametro gioca un ruolo molto significativo nelle proprietà elettriche del film sottile di ITO. In particolare è stato verificato che è possibile ottenere una modulazione della workfunction dello strato sottile di ITO fra i valori di 5.2eV e 4.6eV variando la temperatura del substrato in fase di deposizione del film sottile di ITO da 25°C a 200°C. Questo risultato permette di adattare in modo più efficace lo strato di ITO alla cella ad eterogiunzione.

1 Introduzione

il presente lavoro è stato svolto nel quadro dell'Accordo di collaborazione fra ENEA e Università degli Studi di Roma "La Sapienza" Dipartimento di Ingegneria Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni: DIET. Nel presente lavoro vengono presi in esame strati di *Indium Tin Oxide* (ITO) da utilizzare nelle eterogiunzioni silicio amorfo / silicio cristallino (a-Si:H/c-Si). In particolare di seguito sono analizzate in dettaglio le proprietà principali di trasparenza, conducibilità e workfunction (Φ) per trovare le migliori condizioni di deposizione dello strato stesso al fine di garantire una efficace raccolta delle cariche foto generate nella struttura di cella fotovoltaica ad eterogiunzione riportata in Figura 1.1.

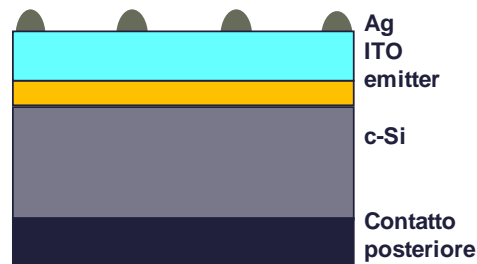


Figura 1.1 Schema della sezione della cella solare ad eterogiunzione.

La motivazione di questo studio consiste nella necessità di ottimizzare lo strato conduttivo e trasparente, che tipicamente deve essere introdotto nelle celle solari ad eterogiunzione, in quanto la scarsa conducibilità dello strato di emitter della cella non garantisce una raccolta efficace delle cariche foto generate ed introduce un elemento di grande perdita nell'efficienza di conversione fotovoltaica della cella stessa.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Trasparenza e conducibilità del film sottile di ITO

Lo strato di ITO sviluppato ed analizzato nel presente rapporto è un ossido trasparente e conduttivo (TCO) che nel caso specifico è stato realizzato mediante RF Magnetron Sputtering a partire da un target composto in peso da 90% In_2O_3 – 10% SnO_2 . Per la deposizione sono state utilizzate le seguenti condizioni preventivamente già sperimentate con successo: una potenza di scarica di 200W alla frequenza di 13.56MHz ed un flusso di 25sccm di Ar ad una pressione di lavoro di 2.7 mbar. Lo spessore del film sottile è stato scelto in modo da ottenere un effetto di antiriflesso nei confronti della radiazione solare nell'intervallo di lunghezze d'onda di assorbimento del silicio. A tal fine sono state effettuate delle simulazioni numeriche utilizzando il software XOP [1] per descrivere dal punto di vista ottico la struttura di Figura 1. Le caratteristiche ottiche del film di ITO, ovvero gli indici n e k , sono stati dedotti da misure ellissometriche preventive effettuate su un film di ITO realizzato a temperatura di 150°C in assenza di ossigeno [2]. Per ottenere un valido antiriflesso e quindi stabilire lo spessore di ITO necessario, è opportuno ricercare il minimo della riflettanza efficace dell'intera struttura proposta in Figura 1 al variare dello spessore dello strato di ITO. Per riflettanza efficace si intende il valor medio della riflettanza pesata in base allo spettro di radiazione solare nell'intervallo di lunghezze d'onda di interesse, che nel caso della struttura di figura 1 sono quelle relative all'assorbimento del silicio (350-1200 nm). Essendo AM1.5G lo spettro di radiazione del sole, per ottenere la riflettanza efficace a partire dalla riflettanza si applica la seguente relazione:

$$R(\lambda) = \frac{\int_{1200}^{350} AM1.5G(\lambda)R(\lambda)d\lambda}{\int_{1200}^{350} R(\lambda)d\lambda}$$

Nella Figura 2.1 è riportato il valore del minimo di riflettanza efficace della struttura di Figura 1.1 al variare dello spessore di ITO. Dai dati riportati in figura si evince che uno spessore di 70nm di ITO garantisce la minima riflettanza efficace sulla struttura di Figura 1.1, avendo considerato per gli strati di a-Si:H e SiOx degli spessori rispettivamente di 5nm e 10 nm.

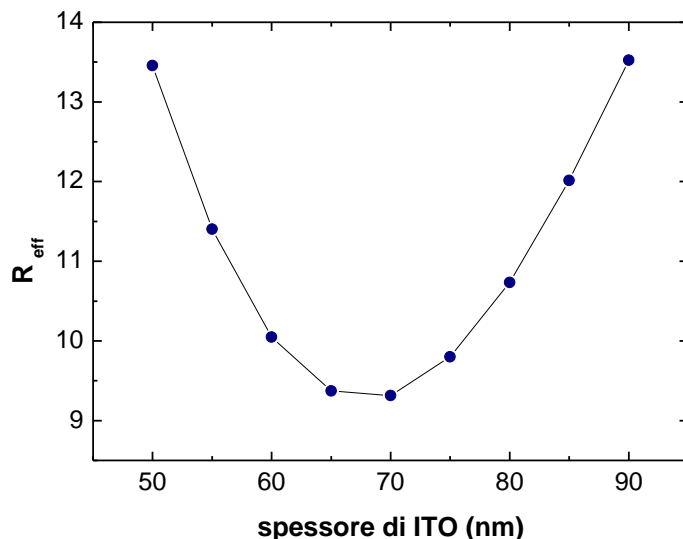


Figura 2.1 Valor minimo della riflettanza efficace della struttura riportata in Figura 1 al variare dello spessore dello strato di ITO.

Individuato lo spessore ottimale, sono state condotte delle sperimentazioni variando due parametri fondamentali delle condizioni di deposizione via sputtering come la temperatura del substrato durante la deposizione del film di ITO e la concentrazione di ossigeno da introdurre nel reattore di sputtering. Questo ultimo parametro consente infatti di migliorare la trasparenza del film di ITO, ma al contempo tende a ridurre la conducibilità del film di ITO facendo prevalere la fase ossidata rispetto a quella metallica dei due componenti base: Indio e Stagno. In Figura 2.2 è riportata la variazione di resistività del film di ITO e la sua trasmittanza efficace al variare della concentrazione di ossigeno introdotto nel reattore di sputtering. Per trasmittanza efficace si intende la trasmittanza mediata e pesata con lo spettro solare AM1.5G sempre nell'intervallo spettrale di interesse per il silicio (350-1200 nm). I dati riportati in Figura 3 evidenziano come una introduzione di ossigeno durante il processo di crescita del film di ITO, seppure minima di 1sccm, riduce fortemente la trasmittanza efficace ed aumenta la resistività dello strato di ITO. Queste misure si riferiscono ad un film di ITO dello spessore di 70nm depositato su corning glass. Sebbene sia presente una piccola riduzione di resistività all'aumentare del contenuto di ossigeno nel reattore di sputtering le variazioni in crescita di questo risultato al ripetersi degli esperimenti hanno suggerito di evitare del tutto l'introduzione di ossigeno in camera di reazione in quanto è assolutamente necessario ottenere un film molto conduttivo di ITO per evitare perdite resistive nella conduzione dei portatori fotogenerati nella cella solare verso i contatti esterni. Infatti, per evitare di dover introdurre una griglia metallica troppo fitta sulla superficie dello strato di ITO, che aumenterebbe l'ombreggiamento della cella solare a discapito della fotocorrente generata, è necessario che la resistività dello strato di ITO si mantenga a valori dell'ordine di grandezza di $10^{-4} \Omega\text{cm}$ [3].

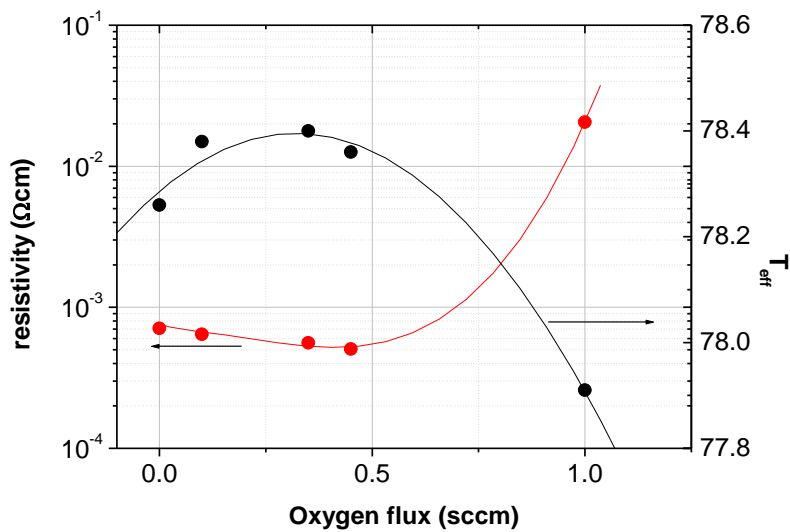


Figura 2.2. Resistività e T_{eff} dello strato di 70 nm di ITO in funzione del flusso di ossigeno nella deposizione del film.

D'altra parte la temperatura del substrato durante la deposizione del film stesso altera la conducibilità del film di ITO, in quanto una temperatura alta può favorire la decomposizione delle due molecole di ossido precursori del film, favorendo l'aggregazione metallica, mentre una temperatura più bassa tende a lasciare inalterate le molecole di ossido precursore, garantendo in tal modo la trasparenza del film. In figura 4 sono riportate la resistività del film di ITO e la sua trasmittanza efficace al variare della temperatura di deposizione. Dagli andamenti riportati in Figura 2.3 si deduce che, mentre la trasmittanza efficace inizialmente cresce al crescere della temperatura per poi ridursi drasticamente superati i 150°C, la resistività del film, invece, si riduce monotonicamente all'aumentare della temperatura di deposizione del film stesso verso valori sempre più bassi. Anche in questo caso le misure riportate in Figura 4 si riferiscono a film di 70 nm di ITO depositati su Corning Glass.

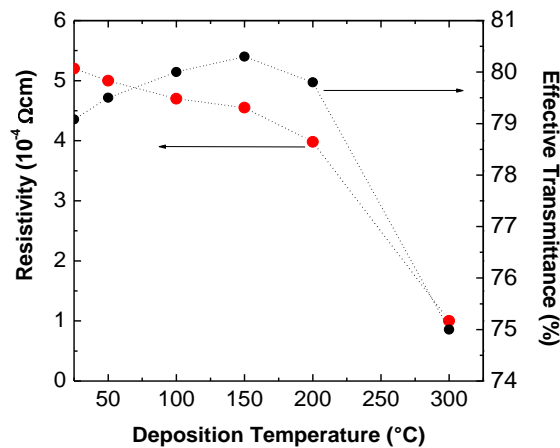


Figura 2.3. Resistività e T_{eff} dello strato di 70 nm di ITO in funzione della temperatura di deposizione.

In Figura 2.4 sono riportati gli spettri di trasmittanza degli strati di ITO depositati su corning-glass a temperature diverse. Si evidenzia una riduzione del picco a 400nm ed un aumento di trasmittanza nella regione infrarossa all'aumentare della temperatura di deposizione del film di ITO.

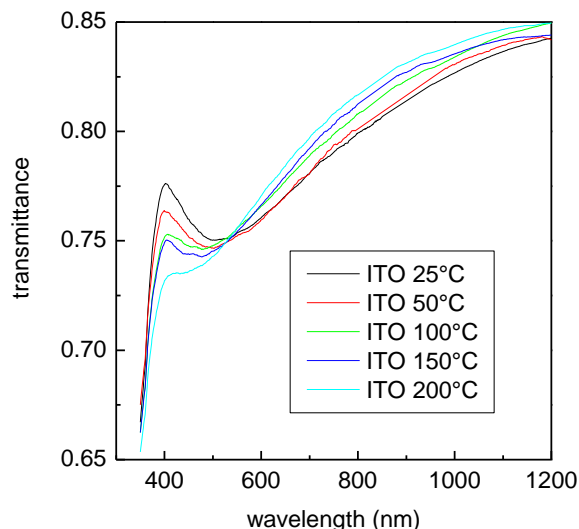


Figura 2.4 Trasmittanza dello strato di 70 nm di ITO in funzione della temperatura di deposizione.

2.2 Temperatura di deposizione del film di ITO

Al fine di approfondire l'analisi dell'effetto della temperatura del substrato sono state effettuate delle misure di mobilità per effetto Hall dei vari film di ITO depositati a temperature diverse. In particolare le misure di mobilità sono state effettuate mediante misure elettriche, in configurazione Van Der Poye, del film di ITO inserito in un campo magnetico. In Figura 6 sono riportate per confronto le resistenze di strato ρ_{sheet} ed i valori di mobilità dedotti sui singoli film di ITO depositati a diverse temperature. Mentre la ρ_{sheet} , pari al rapporto fra resistività e spessore, tende a ridursi, la mobilità dei portatori tende a crescere, monotonicamente per entrambe le quantità, all'aumentare della temperatura. Questo effetto è stato confermato su 12 campioni analoghi depositati alle diverse temperature come evidenziato dalle barre d'errore riportate su ogni punto dei grafici di figura 2.5.

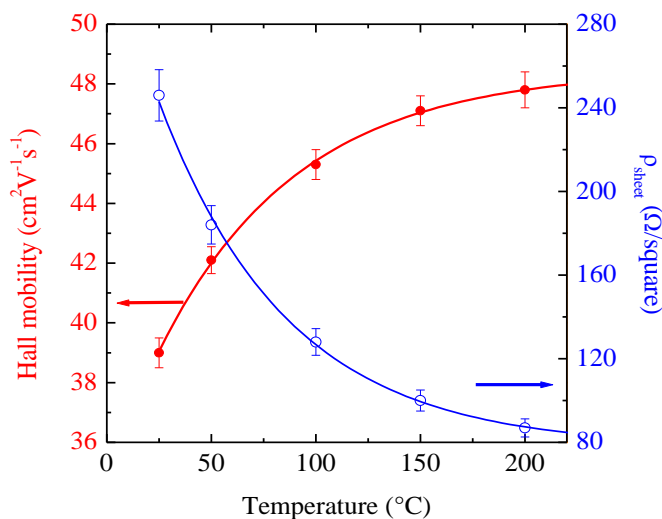


Figura 2.5. Mobilità Hall e ρ_{sheet} nello strato di 70 nm di ITO depositato a diverse temperature.

Le misure di mobilità Hall, permettono anche di valutare la concentrazione di portatori, in questo caso elettroni, nel film stesso. Va ricordato, infatti, che lo strato di ITO è un semiconduttore degenere di tipo n. In Figura 2.6 è riportata la concentrazione di elettroni per i vari film di ITO depositati a diverse temperature. E' evidente che al crescere della temperatura di deposizione aumenta la quantità di portatori.

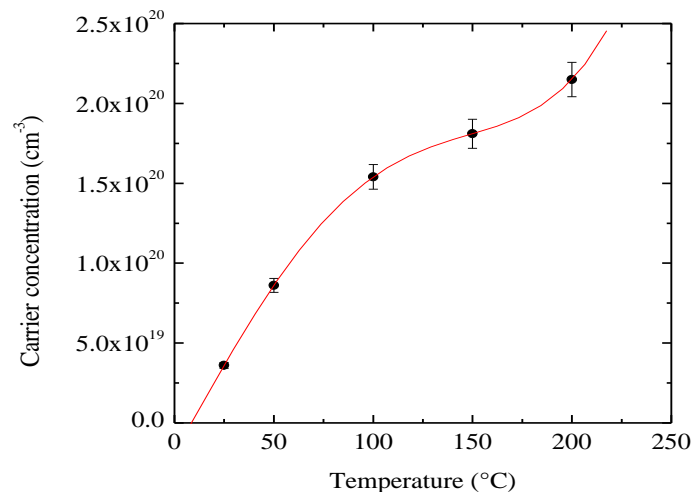


Figura 2.6. Concentrazione di elettroni nello strato di 70 nm di ITO depositato a diverse temperature.

Un valore crescente di elettroni implica una posizione del livello di Fermi crescente all'interno della degenerazione in banda di conduzione. Questo effetto si accompagna, in genere, ad una riduzione della workfunction del materiale, intesa come distanza energetica che separa il livello di Fermi dal livello di vuoto, ovvero la quantità di energia necessaria ad estrarre un elettrone dallo strato di ITO e portarlo all'esterno del materiale stesso. D'altra parte la proprietà ed il valore di workfunction dello strato di ITO ed in generale di qualsiasi sia il metallo o il semiconduttore che viene utilizzato per contattare lo strato di emitter della eterogiunzione riveste un ruolo molto importante al fine di evitare perdite di tensione di built-in della giunzione. In generale, nella cella di Figura 1.1, essendo drogato di tipo n lo strato di emitter, con energia di attivazione di circa 0.1eV, ed essendo di 3.95eV il valore dell'affinità elettronica dello strato stesso, la workfunction dello strato di emitter con cui il metallo di contatto ϕ , come nel caso in esame, lo strato di ITO deve confrontarsi è pari a 4.1eV [4]. Se lo strato di ITO avesse un valore di workfunction maggiore di questo valore, nel momento in cui vengono in contatto ITO ed emitter, si otterrebbe un effetto negativo sulla giunzione sottostante, in quanto la workfunction dello strato di ITO indurrebbe uno svuotamento dello strato di emitter fino a far assumere allo strato di emitter stesso una workfunction pari a quella dello strato di ITO. In tal modo il built-in della eterogiunzione invece di stabilirsi a partire dal valore di 4.1eV, dovrebbe ridursi di tanto quanto aumenterebbe la workfunction nello strato di emitter, come evidenziato nella Figura 2.7, dove è riportata una simulazione numerica del piegamento di bande energetiche della eterogiunzione di figura 1 nel caso in cui lo strato di ITO assuma una workfunction di 4.6eV, maggiore del desiderato valore di 4.1eV. In questo caso il livello di Fermi (E_f) nello strato di emitter tende a separarsi rapidamente dalla banda di conduzione dello strato di emitter al crescere della distanza dalla giunzione ITO/emitter. Ciò implica una riduzione di elettroni nello strato di emitter, una riduzione del piegamento delle bande ed in definitiva una riduzione del Built-in della giunzione con conseguente riduzione della tensione di circuito aperto (V_{oc}) della cella solare.

Per valutare la variazione e l'effetto della workfunction dello strato di ITO assunta alle diverse temperature di deposizione del film, si è scelto un metodo di misura elettrica che consiste nel depositare degli elettrodi

di ITO coplanari su un wafer di silicio drogato di tipo n e di tipo p, entrambi da da 1Ωcm di resistività, preventivamente desossidato in HF al 2% in acqua deionizzata per 1min. In base al drogaggio del silicio ed al valore assunto dalla workfunction dello strato di ITO si potranno avere diverse configurazioni della caratteristica corrente tensione I-V misurata fra i due elettrodi di ITO depositati sul silicio. In Figura 2.8 si riportano le caratteristiche I-V misurate su silicio drogato di tipo p. In Figura 2.9 si riportano le caratteristiche I-V misurate su silicio drogato di tipo n. In entrambe le figure è riportato lo schema del dispositivo in esame.

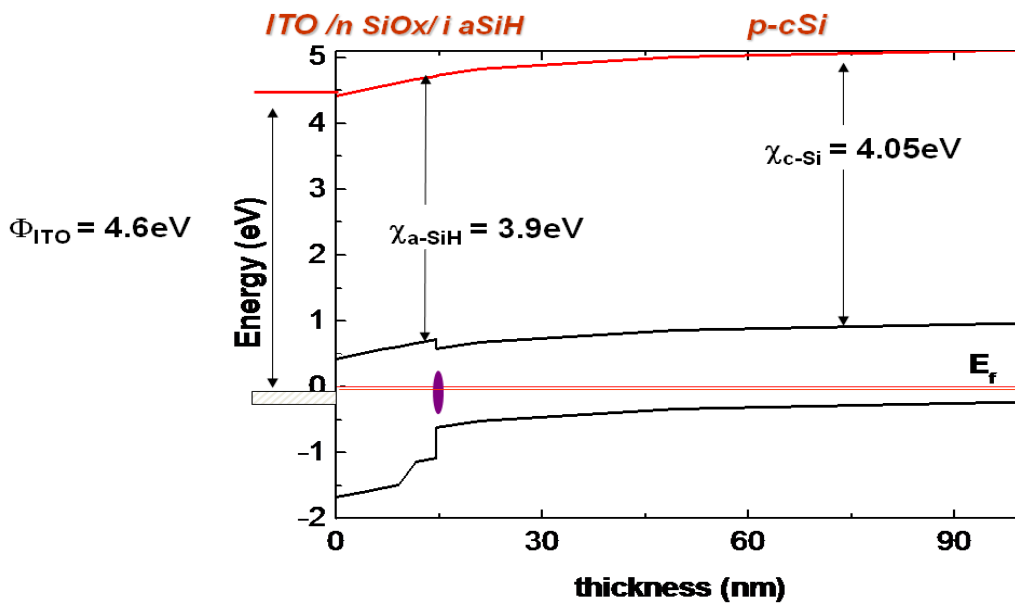


Figura 2.7. Simulazione numerica del piegamento delle bande energetiche del contatto frontale della struttura in Figura 1.1 in cui lo strato di ITO ha una workfunction di 4.6eV.

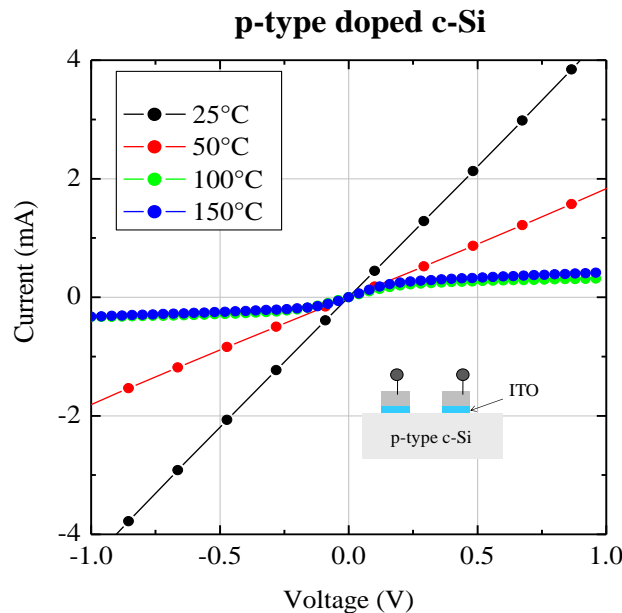


Figura 2.8. Caratteristiche I-V di contatti di ITO coplanari depositati a diverse temperature su p-type c-Si

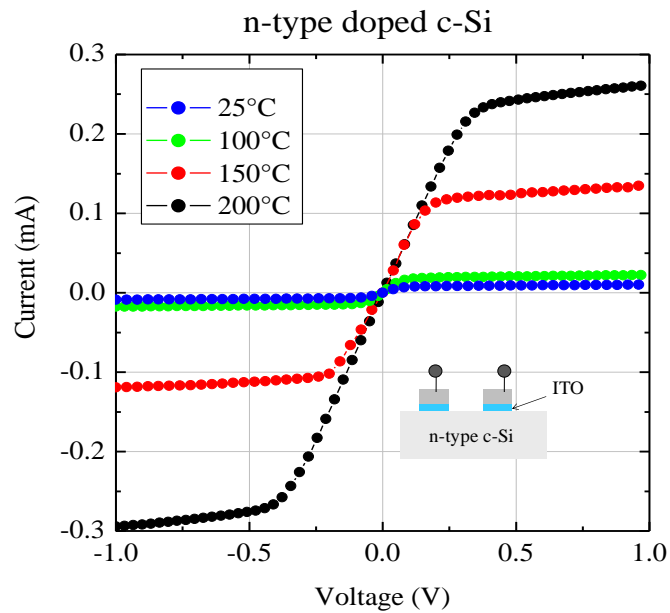


Figura 2.9. Caratteristiche I-V di contatti di ITO coplanari depositati a diverse temperature su n-type c-Si

Dalla Figura 2.8 si deduce che lo strato di ITO depositato a temperatura di 25°C forma un contatto non rettificante con il silicio di tipo p. Questo risultato conferma una workfunction molto alta per questo strato di ITO. Infatti per ottenere un contatto non rettificante fra ITO e p-c-Si è necessario che lo strato di ITO assuma una workfunction almeno prossima a quella del p-type c-Si, che è pari a 5.2eV. Il risultato appena mostrato di formazione di un contatto non rettificante su silicio di tipo p a temperatura di 25°C è sicuramente interessante ed innovativo, a priori non scontato in quanto lo strato di ITO è un semiconduttore drogato degenero di tipo n. Questo implica che il contatto ohmico ottenuto su p-type c-Si è dovuto all'effetto tunnelling alla giunzione ITO/c-Si.

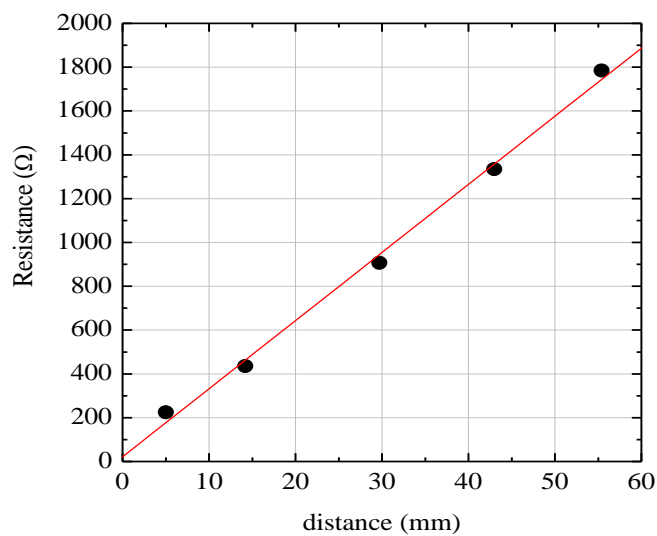


Figura 2.10. Misura di TLM eseguita sulla giunzione ITO/p-type c-Si per valutare la resistenza di contatto.

Per approfondire ulteriormente questo risultato sono state eseguite delle misure di TLM per valutare la resistività specifica del contatto ottenuto [5]. In Figura 2.10 è riportata la misura di TLM effettuata sulla giunzione ITO/p-type c-Si. Da essa si deduce una resistività specifica di contatto di $71.43 \text{ m}\Omega\text{cm}^2$.

Dalle caratteristiche I-V in Figura 2.8 e Figura 2.9 si nota inoltre che aumentando la temperatura di deposizione dello strato di ITO su p-type c-Si, la caratteristica I-V diventa sempre più quella relativa a due diodi contrapposti. Questo effetto evidenzia una riduzione della workfunction dello strato di ITO. D'altra parte sul silicio drogato di tipo n la situazione è opposta alla precedente, ma nonostante 200°C di temperatura di deposizione non si raggiunge mai una caratteristica I-V completamente lineare. Ovvero lo strato di ITO non assume mai il valore desiderato di 4.1eV che è proprio quello tipico di un wafer di silicio drogato di tipo n da $1\Omega\text{cm}$.

Per quantificare il valore della workfunction dello strato di ITO sono state realizzate delle strutture a diodo Schottky composte da ITO depositato su substrato di silicio cristallino drogato di tipo n, preventivamente desossidato in HF diluito al 2% in acqua deionizzata, e contattato posteriormente con eutettico InGa. Nell'insero di Figura 10 è riportato lo schema del dispositivo in esame. L'InGa ha una funzione lavoro pari a 4.1 eV tale da assicurare il contatto ohmico con il silicio di tipo n. La scelta del substrato di tipo n è basata proprio sull'analisi precedente che assicura una giunzione rettificante fra ITO e n-type c-Si. Mediante semplici misure C-V con segnale di probe di 50 mV a 100 kHz eseguite su questo tipo di dispositivo, è possibile risalire al valore di altezza di barriera (ϕ_b) che si instaura fra ITO e n-c-Si. La frequenza di 100kHz garantisce di ottenere delle misure meno dipendenti dai lenti fenomeni di intrappolamento e rilascio tipici delle giunzioni metallo-semiconduttore. In Figura 2.11 è riportato il grafico dei valori di $1/C^2$ in funzione della tensione per campioni depositati a differenti temperature di processo. Le linee continue riportate in figura rappresentano l'interpolazione lineare delle misure sperimentali (simboli). Il valore delle altezze di barriera che si formano fra ITO e c-Si possono essere calcolate dall'intercetta del grafico $1/C^2$ con l'asse delle tensioni. Da questi valori, conoscendo l'affinità elettronica del c-Si ($\chi = 4.05 \text{ eV}$) e l'energia di attivazione ($E_{\text{att}} = 0.2 \text{ eV}$) del drogante di tipo n nel c-Si da $1\Omega\text{cm}$ di resistività, è possibile risalire al valore di workfunction dello strato di ITO. In Figura 2.12 sono mostrate le workfunction degli strati di ITO al variare della temperatura di deposizione. Le barre d'errore sono relative a misure fatte su 12 campioni simili. Sebbene il metodo utilizzato per la valutazione della workfunction sia indiretto, evidenzia comunque una pronunciata variazione dell'altezza di barriera fra ITO e n-type c-Si. Dalla figura risulta un decremento della workfunction da 5.2 a 4.6 eV per un aumento della temperatura di processo da 25 a 200°C . Tutti i valori sono lontani dalla workfunction del n-c-Si da $1\Omega\text{cm}$ che è pari a 4.25 eV e quindi tutti gli strati analizzati sicuramente formano una barriera di potenziale ϕ_b se affiancati ad un n-c-Si. Viceversa un dispositivo formato da un film di ITO e p-c-Si da $1\Omega\text{cm}$ risulta essere un contatto non rettificante e quindi ohmico.

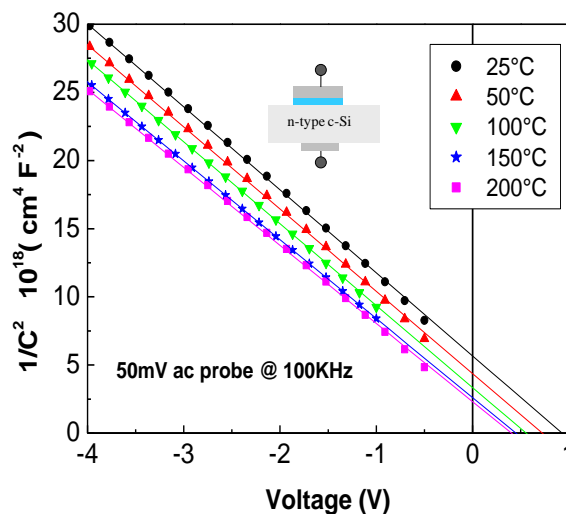


Figura 2.11. Caratteristica $1/C^2$ in funzione della tensione applicata alla giunzione ITO/n-type c-Si.

In definitiva la sperimentazione effettuata sugli strati di ITO ha evidenziato come la temperatura di deposizione degli strati svolga un effetto molto interessante ed utile per modulare il valore della workfunction del materiale stesso in modo semplice [6]. In letteratura sono riportati metodi molto complessi per ottenere risultati analoghi come ad esempio l'uso di trattamenti laser di KrF [7] oppure trattamenti in luce UV ed ozono [8]. Questo effetto di modulazione può essere decisamente utile nelle applicazioni dello strato ai dispositivi ad eterogiunzione.

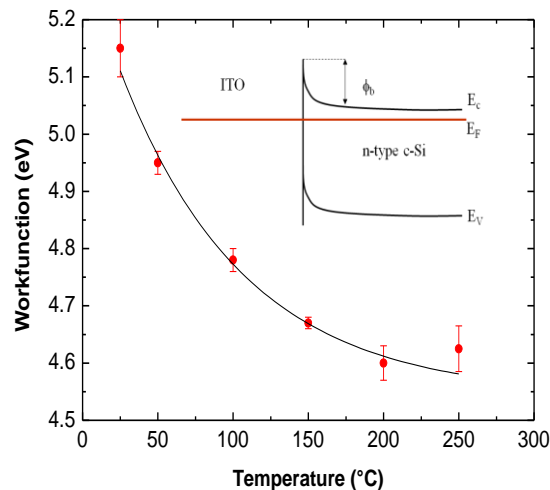


Figura 2.12. Variazione della workfunction dello strato di ITO al variare della temperatura di deposizione, calcolata a partire dalla conoscenza di ϕ_b altezza di barriera fra ITO ed n-cSi (vedi inserto).

3 Conclusioni

In conclusione la sperimentazione effettuata sugli strati di ITO ha evidenziato che è possibile ottimizzare lo strato di ITO come antiriflesso per le celle ad eterogiunzione silicio cristallino / silicio amorfo. Inoltre la sperimentazione eseguita ha rivelato che la temperatura di deposizione degli strati sottili di ITO svolge un effetto molto interessante ed utile per modulare il valore della workfunction del materiale stesso in modo semplice. I risultati ottenuti consentono di adattare meglio il film sottile di ITO alle esigenze delle celle solari ad eterogiunzione.

4 Riferimenti bibliografici

1. <http://www.esrf.eu/computing/scientific/xop2.1/extensions.html>
2. M. Losurdo, M. Giangregorio, P. Capezzuto and G. Bruno, F. Varsano, M. Tucci, F. Roca "Modification of c-Si/a-Si:H/Indium tin oxide heterostructures upon thermal annealing". *Journal of Applied Physics* Vol. 90, No. 12, (2001). pp. 6505-6512.
- 3 M.M. Hilali, "Understanding and development of manufacturable screen-printed contacts on high sheet resistance emitters for low cost silicon solar cells". Ph.D. Thesis Georgia Institute of Technologies (2005). cap.4.
4. M. Izzi, M. Tucci, L. Serenelli, P. Mangiapane, M. Della Noce, I. Usatii, E. Esposito, L.V. Mercaldo, P. Delli Veneri, "Doped SiOx emitter layer in amorphous/crystalline silicon heterojunction solar cell",

- Applied Physics A: Material Science and Processing (2013). DOI 10.1007/s00339-013-7858-1 (2013) pp. 1-8.
5. H. H. Berger, "Models for contacts to planar devices", Solid-State Electron., vol. 15, (1972) pp. 145-158,
 6. G. de Cesare, D. Caputo, M. Tucci, "Electrical properties of ITO/crystalline-silicon contact at different deposition temperatures", IEEE Electron Device Letters. vol. 33 (3) , (2012). pp. 327-329.
 7. Y. J. Lin, C. W. Hsu, Y. M. Chen, Y. C. Wang, "Increase Mechanism of Indium-Tin-Oxide Work Function by KrF Excimer Laser Irradiation" J. Electronic Materials, vol.34, No. 3, 2005, L9-11,.
 8. S. H. Kim, J. Jang, B. D. Chin, J. Y. Lee, "Relationship between work function of indium tin oxide and device performances of C60 modified organic light-emitting diodes" Current Applied Physics vol. 8, (2008), pp. 475-478.

5 Appendice

Curriculum scientifico del gruppo di lavoro impegnato nell'attività.

Il gruppo di ricerca è costituito dai Professori Giampiero de Cesare e Domenico Caputo e si avvale della collaborazione di diversi centri di ricerca universitari e industriali su progetti specifici. Dal 1990, l'attività di ricerca si è focalizzata sullo studio ed applicazioni dei film sottili in elettronica a larga area e a basso costo e comprende, attualmente, l'intero sviluppo di progettazione, fabbricazione e caratterizzazione dei dispositivi. L'apparecchiatura fondamentale per questo tipo di attività è un sistema Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) a radio-frequenza, tricamera in ultra alto vuoto, per la deposizione di strati singoli o strutture multilayer di silicio amorfo idrogenato (a-Si:H), di silicio-carbonio amorfo (a-SiC:H) intrinseci e/o drogati, di strati isolanti di nitruro di silicio e di ossido di silicio. Tale apparecchiatura è parte integrante di un'intera area dedicata alle tecnologie microelettroniche, presente nel Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni dell'Università di Roma "La Sapienza", Questa area comprende inoltre un laboratorio depolverizzato in cui sono disponibili i seguenti sistemi di deposizione di film sottili: 1) sputtering per la crescita di ossidi trasparenti e conduttivi, 2) evaporazione di metalli e film dielettrici 3) etching wet e dry, 4) fotolitografia UV. Il gruppo di ricerca gestisce anche un laboratorio informatico con software di progettazione di strutture omo/etero-giunzione silicio amorfo silicio cristallino e laboratori di caratterizzazione elettrica ed ottica di materiali e dispositivi.

I risultati delle varie fasi della ricerca hanno trovato un'ottima accoglienza nella comunità scientifica e industriale, portando alla pubblicazione numerosi articoli internazionali, di diversi brevetti industriali e al coinvolgimento di numerosi progetti di ricerca, finanziati da soggetti pubblici e privati nazionali ed internazionali. Partendo dalla ottimizzazione delle proprietà elettriche ed ottiche del materiale l'attività di ricerca del gruppo ha portato allo sviluppo di dispositivi in silicio amorfo, in molti casi innovativi, per applicazioni nel campo della conversione fotovoltaica (progetto europeo Mophet (2003): "celle solari ad eterostruttura silicio amorfo silicio cristallino", Progetto MICA (2001): "celle solari in silicio amorfo ad effetto di campo"), dei dispositivi elettronici per il pilotaggio di matrici attive, e in campo sensoristico (progetto PRIN MIUR: "uv microarray for dna identification", Progetto di trasferimento tecnologico finanziato FILAS Opticon 2000 SpA (2007): "termometro a film sottile per chirurgia oftalmica", progetto europeo FPVII (2008) "novel photosensor for rapid and quantitative ochratoxin a determination in wine beer and feed. Più in dettaglio sono state realizzate celle solari a singola e a doppia giunzione p-i-n con efficienze di conversione fotovoltaica rispettivamente del 9.4% e del 7%. Attualmente, è in corso un progetto con il centro ENEA Casaccia, per lo sviluppo di celle solari innovative ad eterostruttura c-Si/a-Si, con lo scopo di utilizzare fette di silicio cristallino più sottili, e quindi più economiche, di quelle attualmente utilizzate nella fabbricazione delle celle solari. Attraverso una tecnica diagnostica non distruttiva di celle solari a film sottili basata su caratterizzazione C-V, a temperatura e frequenza variabile, è stata ottimizzata la progettazione della interfaccia silicio cristallino/silicio amorfo portando alla realizzazione di una cella ad eterostruttura su substrato di tipo p con 17% di efficienza.