

**ANALISI AES DI WAFER COSTITUENTI IL RIVELATORE A PIXEL
DELL'ESPERIMENTO ATLAS**

A. Daccà, G. Gemme, R. Parodi

INFN – Sezione di Genova, via Dodecaneso 33, I-16146 Genova (Italy)

Abstract

The structure of the pixel ATLAS detector is based on three components: a matrix of Si diodes, a chip with a matrix of electronic channels matching the detection elements and a “bump bonding” connection (constituted by In) between these. The good performance of this structure is related to the absence of insulating materials between the In islands and the substrate (Al).

To check this requirement AES analyses have been performed on differently prepared Si wafers. This technique is very useful to investigate the chemical state of a surface, particularly when a high spatial resolution is required, as in this case. This work summarises the results obtained and show the possible sources of problems related to the realisation of the “bump bonding” structure.

INTRODUZIONE

La struttura del rivelatore a pixel dell'esperienza ATLAS è basata su una matrice di diodi di Si e su un chip costituito da una serie di canali elettronici, che costituiscono gli elementi di rivelazione. La connessione tra i due tipi di strutture è realizzata mediante isole di In (“bump bonding”), depositate sul substrato in Al⁽ⁱ⁾. La deposizione viene effettuata in seguito alla rimozione, mediante attacco chimico, dello strato passivante presente sul wafer e costituito da SiON. Il requisito fondamentale per tale tipo di struttura è la assenza di impurezze di natura isolante tra il substrato di Al e le isole di In; la presenza di tali impurezze potrebbe essere legata alla crescita di ossidi (Al₂O₃), avvenuta nel tempo intercorrente tra il termine dell'attacco

chimico e la deposizione, oppure ad una non perfetta rimozione dello strato passivante.

Allo scopo di verificare la eventuale presenza di tali impurezze, una serie di campioni prelevati da tali wafer è stata sottoposta ad analisi AES (Auger Electron Spectroscopy). Questa tecnica di analisi superficiale consente di ricavare informazioni relative alla composizione chimica superficiale con una elevata risoluzione spaziale ed è, pertanto, lo strumento ideale per affrontare il problema descritto⁽ⁱⁱⁱ⁾.

Nel presente lavoro verranno descritte le analisi effettuate su due tipi di campioni: il primo campione prelevato da un wafer sul quale è stata portata a termine la deposizione di In, mentre il secondo proveniente da un wafer nella fase intermedia di lavorazione (dopo la rimozione dello strato passivante e prima della deposizione).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Le misure AES sono state effettuate mediante lo spettrometro PHI 5600ci ESCA MultiTechnique; una descrizione dettagliata dello strumento e delle tecniche di analisi è riportata in lavori precedenti⁽ⁱⁱⁱ⁾. Le analisi Auger vengono condotte per mezzo di un cannone elettronico che produce un fascio per effetto termoionico da un filamento di esaboruro di lantanio (LaB_6). La tensione accelerante applicata al fascio può variare da 1 a 10kV e la dimensione del fascio stesso (fattore che determina la risoluzione spaziale della tecnica) è attorno a 200nm; gli elettroni emessi per effetto Auger dalla superficie del campione sono raccolti dall'analizzatore di elettroni SCA (Spherical Capacitor Analyser). Infine nella camera di analisi è presente un rivelatore di elettroni secondari SED (Secondary Electron Detector) che consente di effettuare microscopia elettronica SEM (Secondary Electron Microscopy). La pressione base all'interno dello spettrometro è 2×10^{-10} Torr.

Il campione su cui è stata effettuata la deposizione di In è stato sottoposto ai seguenti processi:

- 1) acquisizione di alcune immagini SEM a diversi ingrandimenti, per individuare la zona da analizzare;
- 2) acquisizione di alcuni spettri AES Survey per caratterizzare chimicamente le zone su cui è stato depositato l'In;
- 3) sputtering della superficie mediante ioni Ar^+ (area interessata = $4 \times 4 \text{ mm}^2$, $E_{\text{beam}} = 2 \text{ KeV}$, $I_{\text{sputt}} = 0.6 \mu\text{A}$, tempo di sputtering = 5min.) per rimuovere la contaminazione superficiale (C ed O) causata dall'esposizione all'atmosfera;
- 4) acquisizione di una serie di spettri AES Survey su diverse isole di In, allo scopo di caratterizzare chimicamente differenti zone di deposizione.

Data la natura isolante del substrato e la contaminazione del campione è risultato particolarmente complicato acquisire uno spettro AES sul campione introdotto direttamente nella camera di analisi (effetti di caricamento del campione causano una distorsione dello spettro con conseguente traslazione dei picchi e mancanza di conteggi per valori dell'energia cinetica

dell'ordine di 0 - 100 eV). Pertanto è stato necessario effettuare uno sputtering della superficie al fine di rimuovere gli strati di contaminazione prodotta da C ed O. Tale operazione produce la rimozione dei primi 2 o 3 strati atomici (circa 10Å).

Successivamente l'acquisizione di uno spettro AES Survey (Fig. 1) su un'isola di In ha permesso di individuare come principali componenti chimici della superficie: In, O e C nelle concentrazioni riportate in Tabella 1.

Tabella. Concentrazioni atomiche relative allo spettro di Fig.

Atomic Concentration Table		
C1	O1	In1
[0.128]	[0.296]	[0.586]
14.24	16.42	69.35

L'analisi di altre isole è risultata identica per quel che riguarda la composizione qualitativa ed analoga per quel che riguarda la composizione quantitativa.

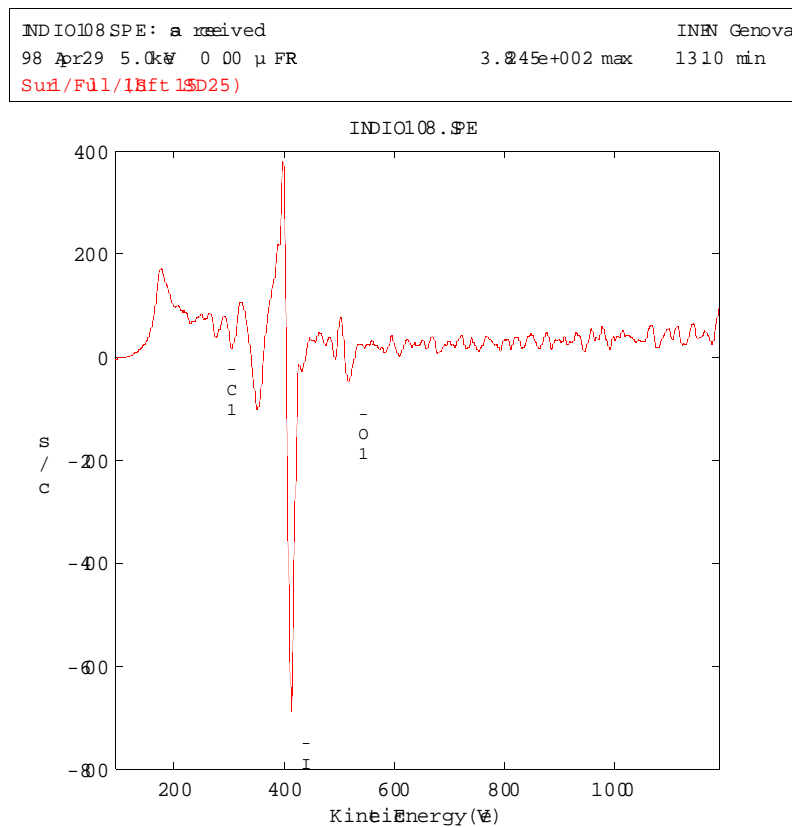


Figura 1. Spettro AES Survey su un'isola di In.

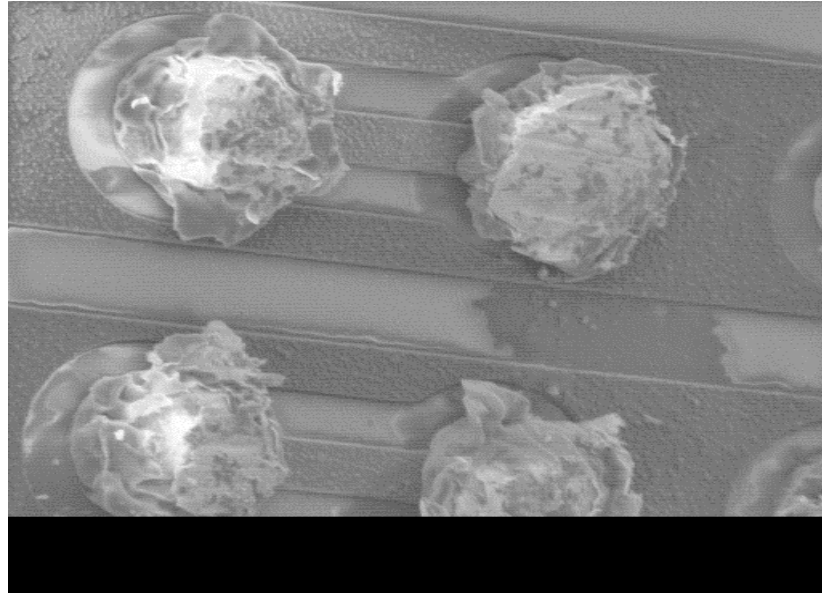


Figura 2. Immagine SEM a 1000 ingrandimenti ($E_{\text{beam}} = 9\text{KeV}$) della zona analizzata.

IND D 112 SEM :SEM :as received	NFN Genova
98 Apr 29 5.0 keV 0 0.0 μ FAT	
SEM Full	

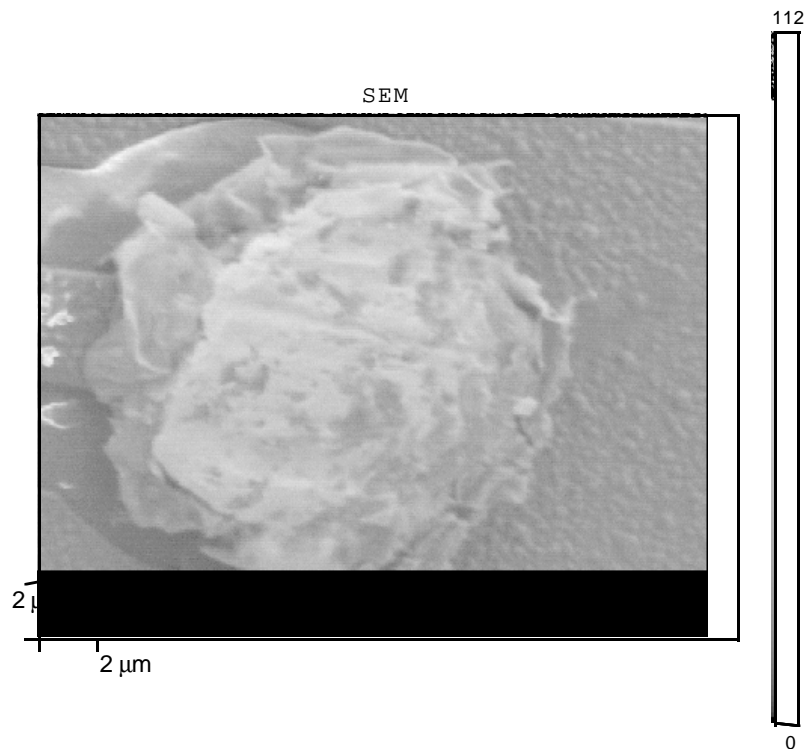


Figura 3. Immagine SEM a 2500 ingrandimenti ($E_{\text{beam}} = 5\text{KeV}$) di un'isola di In.

Il campione prelevato dal wafer passivato e privo di In è stato sottoposto alle seguenti analisi:

- a) acquisizione di alcune immagini SEM per individuare la zona di interesse;
- b) acquisizioni di alcuni spettri AES Survey per la caratterizzazione chimica della zona in cui è avvenuta la rimozione della passivazione;
- c) sputtering della superficie (area interessata = $4 \times 4 \text{ mm}^2$, $E_{\text{beam}} = 4 \text{ KeV}$, $I_{\text{sputt}} = 1 \mu\text{A}$, tempo di sputtering = 26min.) per valutare lo spessore del materiale “contaminante” (si vedano osservazioni seguenti) sovrastante l’isola di Al.

L’acquisizione di spettri AES Survey su diverse zone del campione (Fig. 4-6) ha permesso di stabilire che le zone teoricamente libere dalla passivazione presentano, invece, un residuo di SiON che risulta essere non uniforme in spessore e sovrastante lo strato di Al_2O_3 . Questa considerazione è deducibile dal fatto che acquisendo spettri AES su diverse isole (si veda zona 1 in Fig. 6) si verificano le seguenti due possibilità:

- 1) si individuano sulla superficie C, O, Si ed N;
- 2) si individuano sulla superficie C, O, Si, N ed Al.

Nel primo caso la mancanza del segnale di Al permette di stabilire che lo spessore di SiON è superiore alla profondità di penetrazione della tecnica (dell’ordine di 20 - 30 strati atomici) e, pertanto, lo strato passivante in quella zona è superiore a 100 \AA .

Nel secondo caso la presenza del segnale di Al consente di stabilire che lo spessore del residuo della passivazione è inferiore a 80 - 100 \AA .

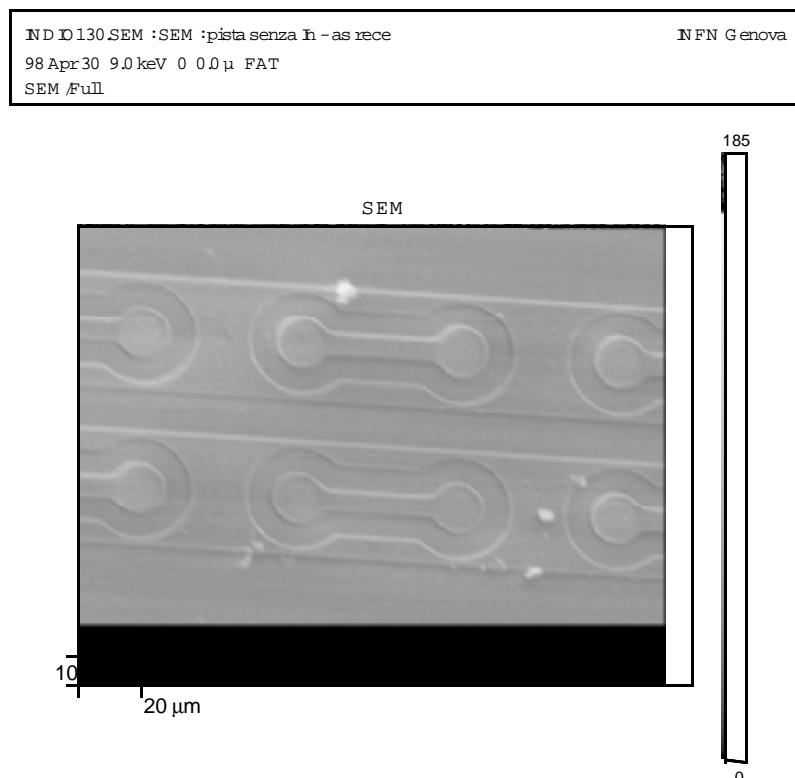


Figura 4. Immagine SEM a 500 ingrandimenti delle piste senza deposizione di In.

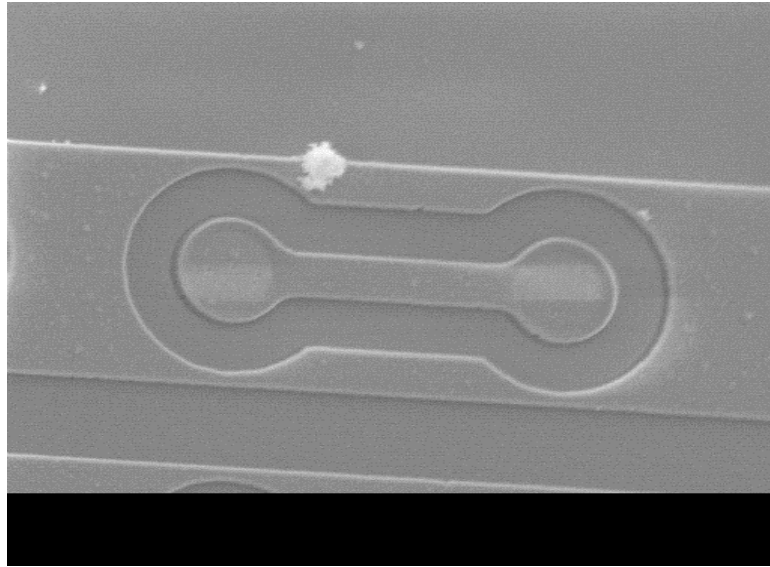


Figura 5. Immagine SEM a 1000 ingrandimenti di una zona con due isole di Al.

IND D134 SEM :SEM :pista senza In - as rece	INFN Genova
98 May 6 9.0 keV 0 0.0 μ FAT	
SEM Full	

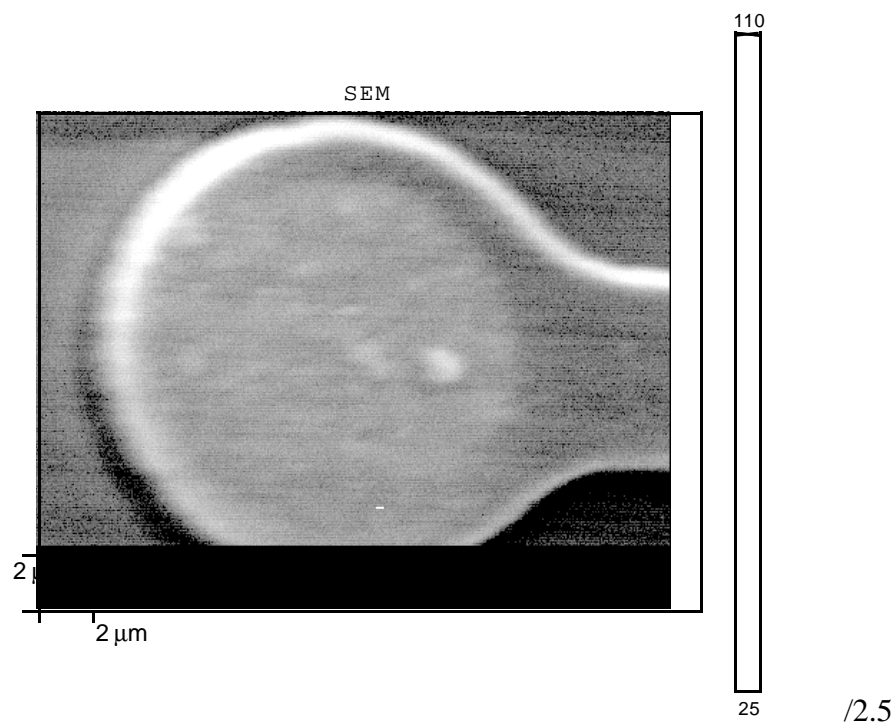


Figura 6. Immagine SEM a 5000 ingrandimenti di un'isola di Al con tracce di rimozione della passivazione.

Dal profilo di sputtering effettuato su un'isola passivata con SiON si ottiene che il tempo di sputtering necessario per raggiungere la superficie di Al puro è di 26 minuti (con i parametri riportati sopra). Utilizzando un valore per la velocità di sputtering di $4\text{\AA}/\text{min}^{(iv, v)}$, si può stimare lo spessore complessivo dello strato contaminante ($\text{SiON} + \text{Al}_2\text{O}_3$) pari a circa 100 - 110Å. Poichè il segnale di Si non è più rilevabile dopo circa 14 minuti di sputtering si può affermare che lo spessore di SiON risulta essere pari a circa 60Å, mentre quello di Al_2O_3 è attorno a 40Å. Naturalmente avendo effettuato questo tipo di analisi su un'unica isola questi sono valori approssimativi, dal momento che si è constatato che la rimozione della passivazione non è avvenuta in modo uniforme.

Nello spettro AES ottenuto al termine del profilo in profondità si identifica solamente il segnale di Al.

CONCLUSIONI

Dai risultati delle analisi AES si può concludere che le isole di In depositate sui wafer non presentano tracce di particolari impurezze (almeno per concentrazioni atomiche superiori all'1%, essendo questo il limite di risoluzione della tecnica spettroscopica utilizzata); gli unici elementi inquinanti sono costituiti da C ed O (quest'ultimo responsabile del processo di ossidazione dell'In), prodotti da contaminazione atmosferica.

La zona del wafer su cui è stata effettuata la rimozione della passivazione presenta uno strato di materiale isolante di spessore non uniforme tra le diverse piste, quantificabile attorno a 100Å. Tale strato è composto in parte da SiON ed in parte da Al_2O_3 ; pertanto possibili problemi dovuti alla presenza di elementi non conduttori nella regione tra l'In ed il substrato in Al sono da ricondurre non solamente alla crescita di uno strato di ossido sul substrato, ma anche ad una non completa rimozione dello strato di SiON.

REFERENCES

-
- (i) G. Darbo et al., "The Atlas Pixel Detector System Architecture", presented at Third Workshop on Electronics for LHC Experiments. London 22-26 September 1997.
 - (ii) D. Briggs, M. P. Seah, "Practical surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy", Wiley, NY (1983).
 - (iii) A. Daccà, G. Gemme, R. Parodi, Internal Note INFN/TC - 97/14, 7 May 1997.
 - (iv) Tale valore è stato ricavato effettuando una calibrazione del processo di sputtering su di un film di Nb_2O_5 di spessore noto cresciuto su un substrato di Nb; la velocità di sputtering ricavata da calcoli teorici, considerando lo sputter yield di Ar^+ su Nb, è compatibile con il valore sperimentale.
 - (v) Una valutazione più rigorosa della velocità di sputtering richiederebbe la calibrazione del processo su campioni di Si di spessore noto. Effettuando, comunque, un calcolo teorico con l'opportuno valore di sputter yield di Ar^+ su Si, si ottiene una velocità di sputtering di circa $2\text{\AA}/\text{min}$.; è, pertanto, ragionevole affermare che gli spessori stimati siano in accordo con quelli reali entro un fattore due.