

PROGRAMMA DI RICERCA STM  
**RELAZIONE FINALE**

Fruitore: Taurino Antonietta

Istituto di afferenza: Istituto per la Microelettronica e i Microsistemi

Dipartimento di afferenza: Scienze Fisiche e Tecnologie della Materia

Qualifica: Ricercatrice III Livello

Struttura ospitante: University of Texas at Dallas (UTD), "Materials Science and Engineering Erik Johnsson School of Engineering and Computer Science"

**Titolo del programma: STEM atomic scale analysis of structure and morphology of InAs QDs**

L'attività svolta all'interno del programma di ricerca STM ha riguardato lo studio mediante tecniche avanzate di microscopia elettronica in trasmissione della morfologia, della struttura e della chimica di strati epitassiali di quantum dots di InAs in matrici di AlGaAs per la realizzazione di celle solari a banda intermedia.

Le celle solari a banda intermedia (IBSC) a base di eterostrutture a quantum dot (QD) sono un sistema fotovoltaico innovativo con efficienza teorica che supera il limite Shockley-Queisser delle celle solari a singola giunzione. I QD di InAs in matrici di AlGaAs rappresentano un'interessante alternativa al più studiato ed utilizzato sistema InAs/GaAs, in quanto il più elevato valore di energy gap della barriera può aumentare significativamente l'efficienza della cella solare.

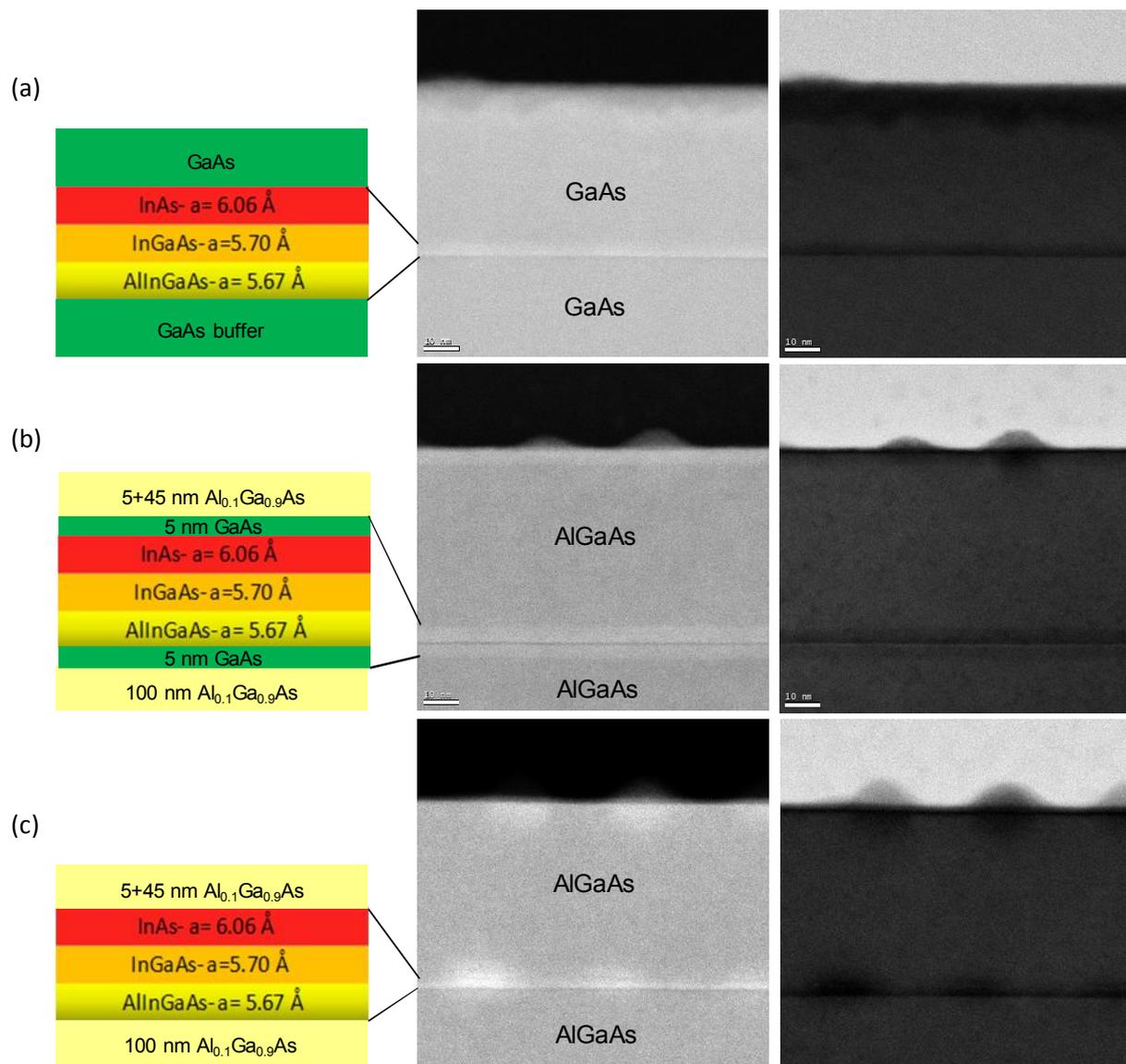
Tuttavia la crescita di strati contenenti Indio su strati contenenti Alluminio può dare luogo alla formazione di interfacce non nette che influenzano negativamente la crescita pseudomorfa dei QD, con la possibile generazione di difetti.

Per ottenere strati di dot di buona qualità strutturale è stato messo a punto un processo di crescita dei dot che consiste in un graduale variazione della composizione, partendo dalla deposizione di un quaternario (AlInGaAs) seguita da quella di un ternario (InGaAs) e infine di un binario (InAs). Tale procedura di crescita porta alla formazione di strati con un complesso profilo chimico e strutturale che influenza le proprietà elettro-ottiche e le performance del dispositivo. Un controllo su scala atomica delle proprietà morfologico-strutturali e chimiche degli strati epitassiali è dunque necessario allo scopo di ottimizzare la crescita ed il funzionamento delle celle solari.

Ciò è stato possibile grazie all'utilizzo di un microscopio STEM JEOL ARM-200F, avente una risoluzione di punto pari a 0.08 nm, che ha permesso di combinare tecniche di imaging, per l'analisi della morfologia dei campioni, e tecniche analitiche (EELS ed EDS) per ottenere informazioni qualitative e quantitative sulla composizione dei campioni, sulla presenza di gradienti composizionali, con risoluzione spaziale subnanometrica.

È stato analizzato un set di 3 campioni di ottimizzazione del processo di crescita, in cui è stato variato l'intorno chimico dello strato di dot di InAs, cresciuti tutti secondo l'approccio multistep sopra descritto. Tale variazione è stata effettuata cambiando la composizione della matrice, ovvero passando da una matrice di GaAs ad una matrice di AlGaAs, secondo gli schemi riportati in Figura 1. Tutti i campioni sono costituiti da uno strato di dot sepolto e da uno strato in superficie, non ricoperto. Questa tipologia di campione ha anche consentito di studiare gli effetti di riorganizzazione della superficie dei dot a seguito del processo di overgrowth della matrice.

Un ulteriore campione, costituito da strati multipli di dot, integrati in un dispositivo a cella solare, è stato preparato ed analizzato.

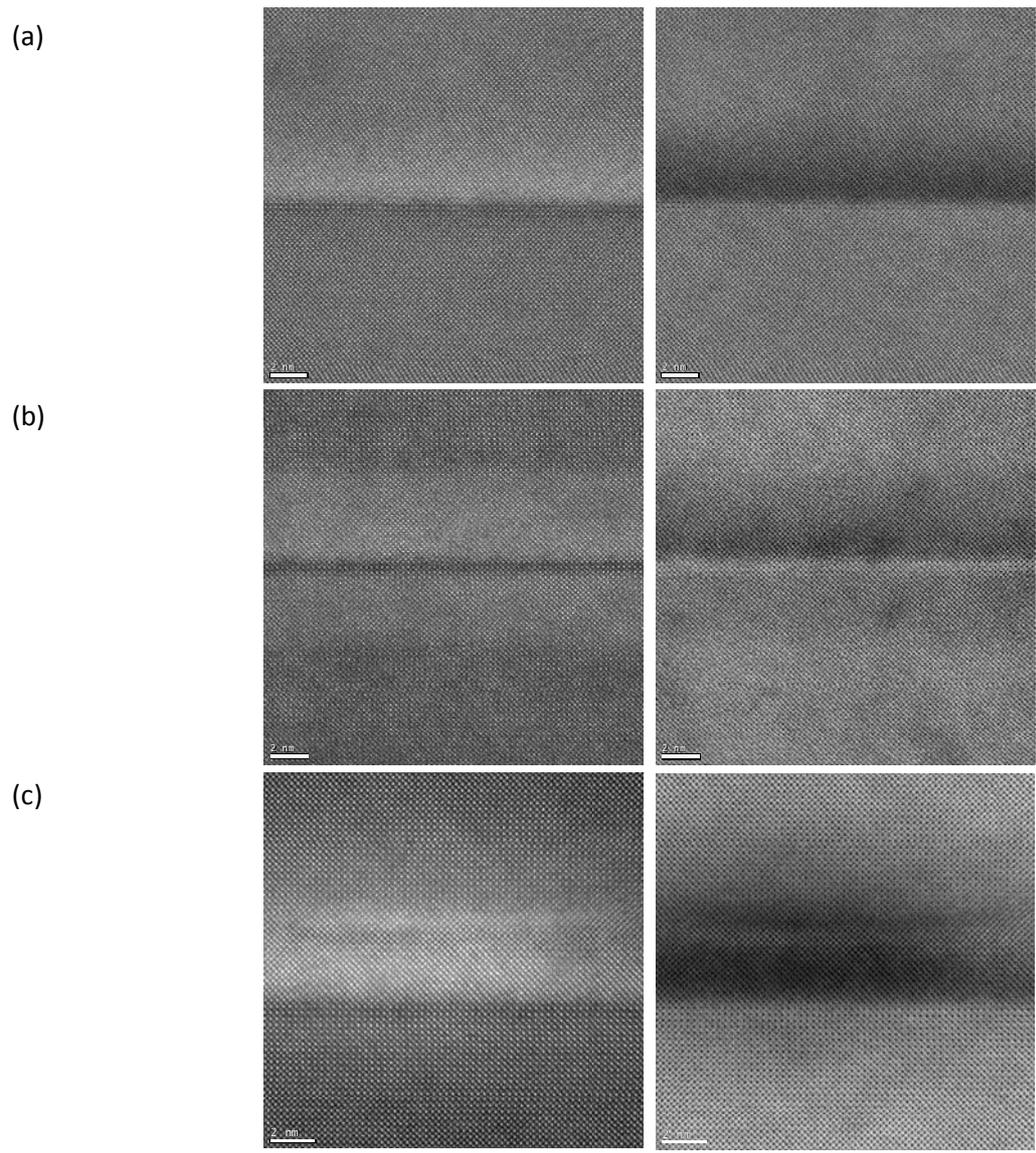


**Figura 1**

In figura 1, si riportano, accanto allo schema di ciascun campione, le immagini STEM high angle annular dark field (HAADF) e bright field (BF) della sezione trasversale dei tre campioni esaminati. Le immagini mostrano una overview della morfologia dei campioni ed in particolare evidenziano l'effetto della chimica della matrice sulla transizione 2D-0D (quantum well to quantum dot). In particolare, nel caso di matrice di tipo GaAs, la crescita non porta alla formazione di dot ben sviluppati (a).

Passando ad una matrice «ibrida», ovvero costituita da AlGaAs, ma con un sottile (5 nm) strato di GaAs intorno ai dot (b), si osserva la formazione di isole coerenti solo sulla superficie del campione. A livello profondo, si osserva come, in entrambi i campioni appena descritti, la crescita multistep porti alla formazione di una well ad elevato contenuto di In.

Soltanto nel caso di matrice di solo AlGaAs (c), le immagini STEM mostrano la formazione di dot sia a livello profondo che in superficie.

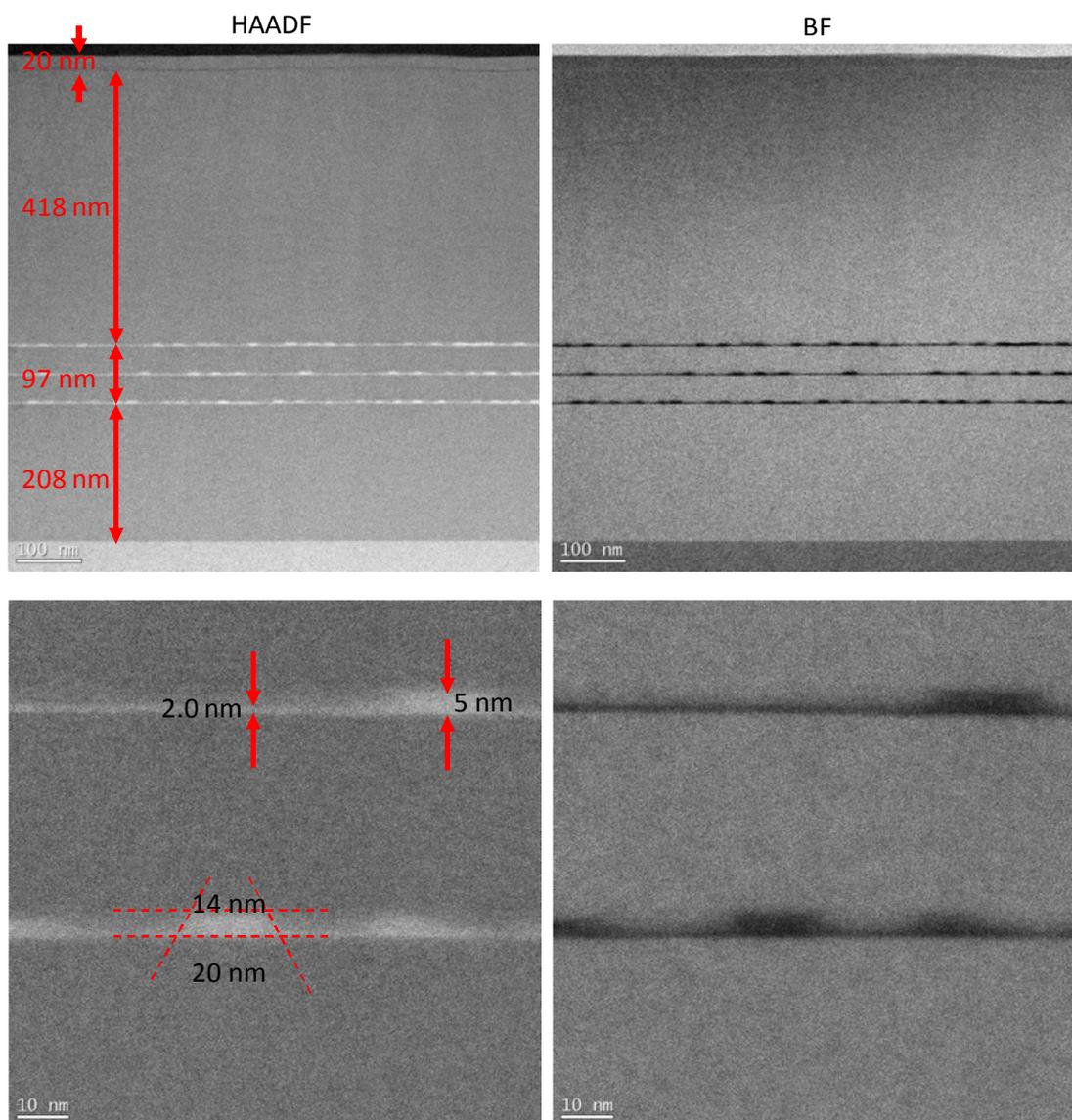


**Figura 2**

Le immagini STEM in alta risoluzione (figura 2) evidenziano l'assenza di difetti strutturali e consentono di estrapolare informazioni sullo spessore degli strati, sulle proprietà morfologiche e chimiche dei dot e del wetting layer (WL), sullo strain, sui parametri reticolari al variare della composizione degli strati, sulla presenza o meno di difetti strutturali.

Le immagini mostrano che in tutti i casi la crescita non dà luogo alla formazione di difetti strutturali, tuttavia solo nel caso di matrice di AlGaAs si ottiene la formazione di isole coerenti sia a livello profondo che di superficie.

Seguendo lo schema di quest'ultimo campione, sono stati cresciuti strati multipli di dot, i quali sono stati integrati in un dispositivo a cella solare, di cui sono state studiate le proprietà elettroottiche. Tali proprietà verranno correlate a quelle morfologico-strutturali e chimiche, ottenute mediante caratterizzazione TEM/STEM.



**Figura 3**

Le immagini STEM di figura 3 mostrano che la crescita di strati multipli non porta alla formazione di difetti estesi. I dot sono isole coerenti, di forma compatibile con quella di un tronco di piramide, e sono connessi tra di loro da un sottile WL. Di tali dot sono state studiate le proprietà di interfaccia, lo strain e la composizione.

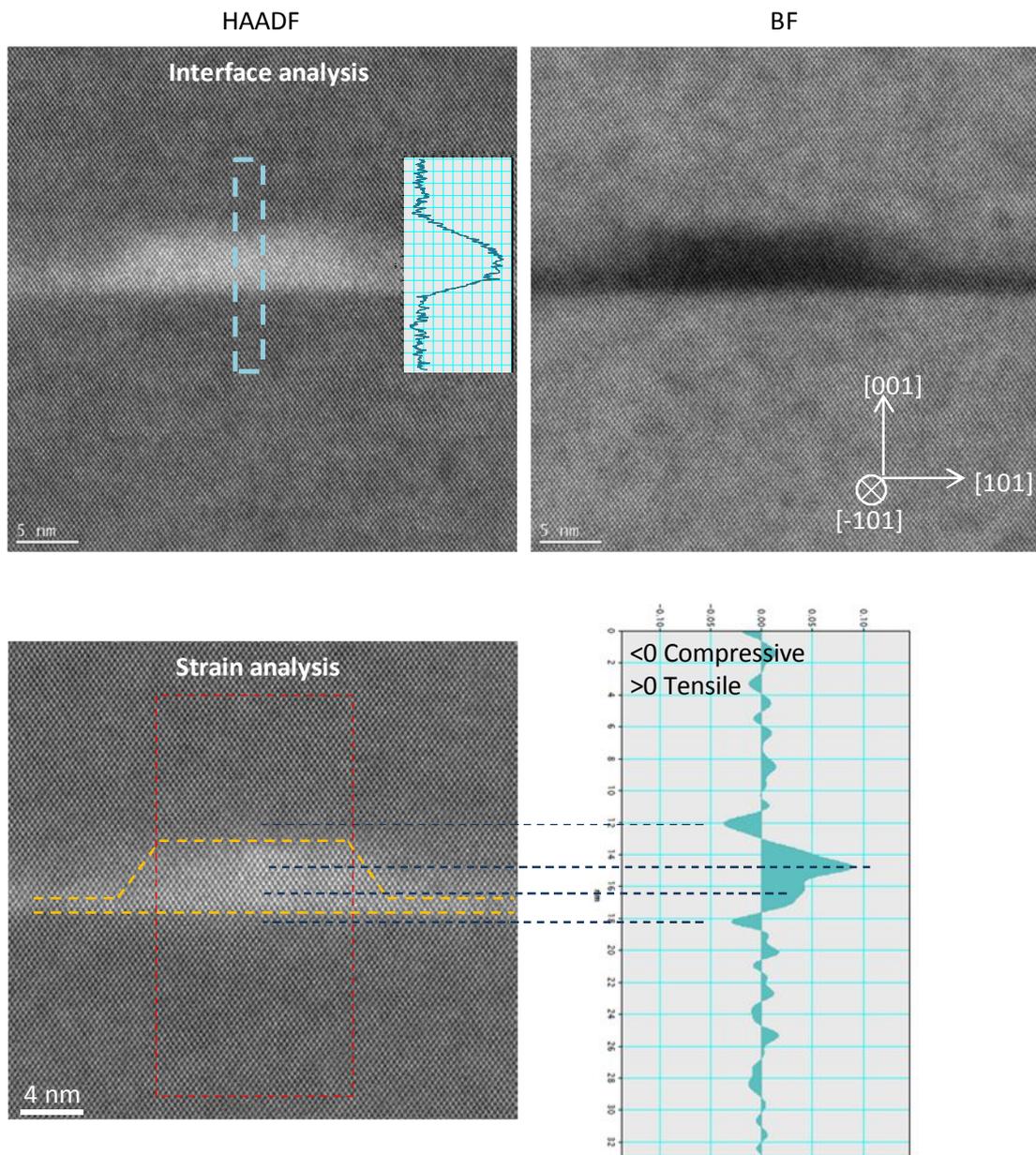


Figura 4

Le interfacce appaiono libere da difetti, tuttavia è presente un broadening legato sia al processo di crescita multistep sia all'interdiffusione dell'In. Lo strain risulta ben bilanciato ed effetti di dilatazione del reticolo si osservano solo in corrispondenza della regione in cui è presente l'In, con un profilo di strain compatibile col gradiente composizionale adottato durante la crescita. Sono state effettuate analisi composizionali attraverso spettroscopia EELS ed EDS.

In particolare, le analisi EDS sono state effettuate attraverso l'acquisizione di:

- Profili EDS su linee di scansione attraverso lo strato dei dot
- Mappe elementali
- Spettri puntuali e di area

Tali dati verranno utilizzati per estrapolare informazioni sulla chimica degli strati, che verranno correlate col particolare processo di crescita multistep adottato.