



**MISSION
INNOVATION**

accelerating the clean energy revolution

POA MATERIALI AVANZATI PER L'ENERGIA

**PROGETTO IEMAP - Piattaforma Italiana Accelerata per i Materiali per
l'Energia**

**D4.14 - Caratterizzazioni morfologiche e microanalisi
di cella PV InGaP/Si**

G.Abagnale
E.Achilli
F.Annoni
N.Armani
M.Calicchio
P. Marzatico



D4.14 - Caratterizzazioni morfologiche e microanalisi di cella PV InGaP/Si

G. Abagnale, E. Achilli, F. Annoni, N. Armani, M. Calicchio, P. Marzatico

Dicembre 2024

Report MISSION INNOVATION

Ministero della Transizione Ecologica - ENEA
Mission Innovation 2021-2024 - III annualità

Progetto: Piattaforma Italiana Accelerata per i Materiali per l'Energia

Work package: WP4

Linea di attività: LA4.9: Sviluppo di un prototipo di cella InGaP/Si ed analisi dei benefici ambientali ed economici

Responsabile del Progetto: M. Celino, ENEA

Responsabile della LA: G. Abagnale, RSE

Indice

SOMMARIO	5
1 INTRODUZIONE	6
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	6
2.1 DEFINIZIONE STRUTTURE BUFFER	6
2.2 FLUSSO DI PROCESSO	7
2.3 CARATTERIZZAZIONI.....	8
3 DISCUSSIONE E CONCLUSIONE	10
4 BIBLIOGRAFIA	11

1 Lista figure

Fig.1: struttura dispositivo fotovoltaico a 1J su Si

Fig.2: Flusso di processo lavorazione Cella fotovoltaica 1J InGaP/Si

Fig.3: Layout griglia metallica cella InGaP su Si

Fig.4: cella InGaP/Si assemblata su PCB

Fig.5: Profilo ECV cella InGaP su Si

Fig.6: Profilo I-V del dispositivo InGaP/Si

Sommario

Nell'ambito del progetto Mission Innovation, si propone di sviluppare, attraverso la piattaforma IEMAP, nuove strutture di materiali che permettano di realizzare celle InGaP su substrati di Silicio (Si) per concentratori luminescenti (LCs), in sostituzione dei substrati di Arseniuro di Gallio (GaAs) attualmente impiegati, permettendo, così, di ottenere elevate prestazioni, una riduzione dei costi e dell'impatto ambientale. In questo terzo anno del progetto di ricerca, è prevista un'attività sperimentale per la realizzazione di un dispositivo fotovoltaico di InGaP su Silicio ottenute attraverso le attività svolte negli anni precedenti. Le strutture epitassiali selezionate attraverso le simulazioni sono state utilizzate per la realizzazione del dispositivo che è stato caratterizzato da un punto vista strutturale ed elettro-ottico.

1. Introduzione

Nel terzo anno di attività di ricerca per LA 4.9 WP4 “sviluppo di un prototipo di cella InGaP/Si ad ed analisi dei benefici ambientali ed economici” è stato realizzato un dispositivo fotovoltaico sugli strati buffer ottenuti dalle precedenti attività modellistiche e sperimentali. È stato definito il flusso di processo per la realizzazione del dispositivo fotovoltaico a singola giunzione(1J) InGaP/Si e sono state seguite le caratterizzazioni strutturali ed elettriche-ottiche del dispositivo così sviluppato per mezzo di misure TEM, EBIC, fotoluminescenza (PL) e di corrente-tensione (IV) del dispositivo.

Il seguente rapporto riassume i risultati ottenuti di quanto sopra descritto.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Definizione struttura buffer

sulla base dei risultati ottenuti nelle attività precedenti [1] è stata individuata una struttura epitassiale buffer metamorfica $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ sulla quale realizzare celle InGaP 1J su Silicio.

Tale soluzione permette di adattare ai parametri reticolari del Si lo strato di InGaP ottenendo una struttura epitassiale rilassata rispetto al substrato sulla quale realizzare il dispositivo fotovoltaico finale (fig.1).

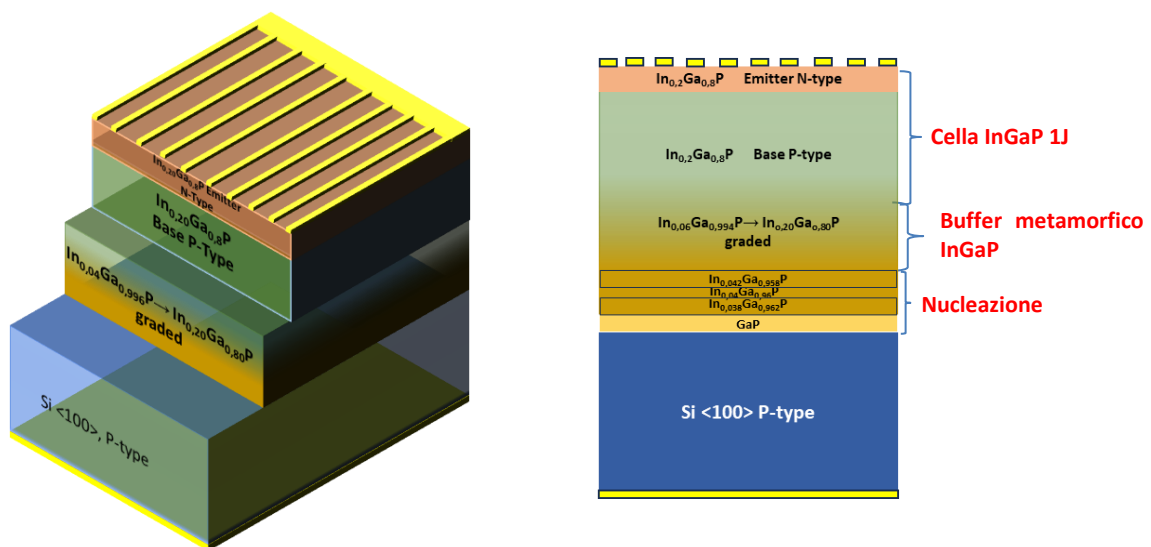


Fig.1: struttura dispositivo fotovoltaico a 1J su Si

Su tale struttura buffer è stato realizzato un dispositivo a singola giunzione in $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{P}$ con base P-type ed emitter N-type ottenuti mediante drogaggio con Zn (Zinco) e Si(Silicio) rispettivamente per la base e per l'emitter. Gli spessori dei due layer attivi cresciuti sono di 80 nm per l'emitter e 700 nm per la base.

2.2 Flusso di processo

Il flusso di processo è stato implementato su wafer da 6 pollici di Silicio <100> p-Type 6° off e prevede un primo step di crescita epitassiale per MOCVD [1] seguito dai diversi step di processo per la realizzazione del dispositivo (fig.2).

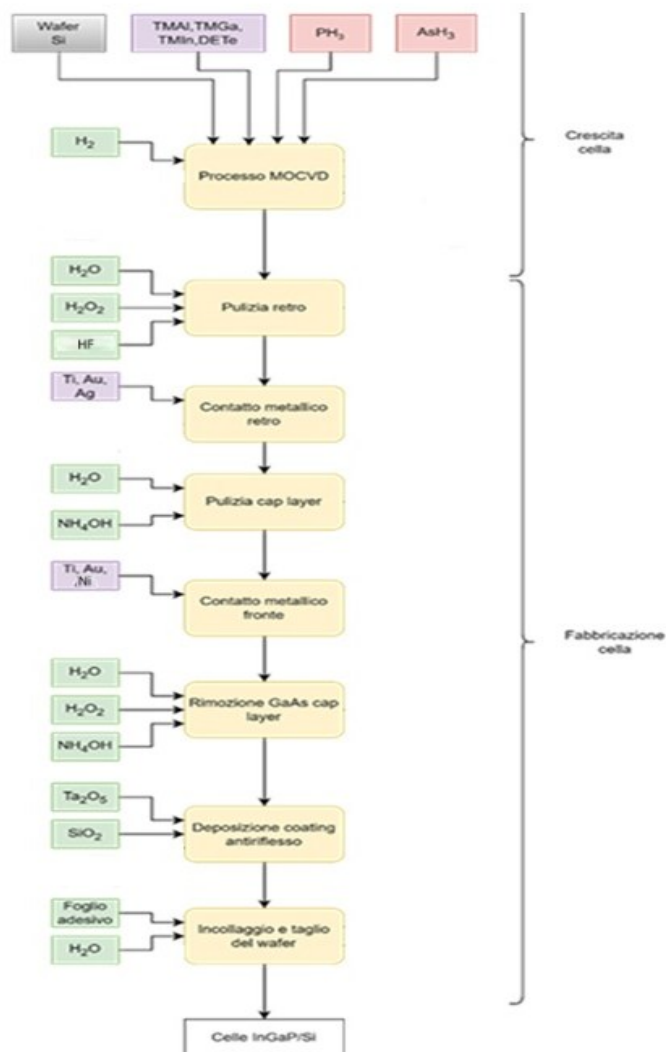


Fig.2: Flusso di processo lavorazione Cella fotovoltaica 1J InGaP/Si

Il dispositivo realizzato è analogo a quello realizzato su substrati di Arseniuro di Gallio (GaAs) utilizzando lo stesso set di maschere litografiche. Il dispositivo prodotto ha le caratteristiche di layout riportate in tabella 1:

Parametro	Valore
Lunghezza del rebbio (mm)	5.861
Area totale dei rebbi (mm ²)	6.4471
Area bus bar (mm ²)	11.655
Area totale (mm ²)	146.514
Area attiva (mm ²)	128.4119

Tab. 1. Caratteristiche geometriche della cella InGaP e della relativa griglia metallica



Fig.3: Layout griglia metallica cella InGaP su Si

I dispositivi ricavati dai wafers sono stati assemblati su board di tipo PCB (Printed Circuit Board) con finitura superficiale di tipo ENEPIG (Electroless Nickel, Immersion Palladium, Immersion Gold) mediante processo Die Attach. Il contatto elettrico sul fronte del dispositivo viene fatto mediante la saldatura di un filo d'oro da 50 μm di diametro.

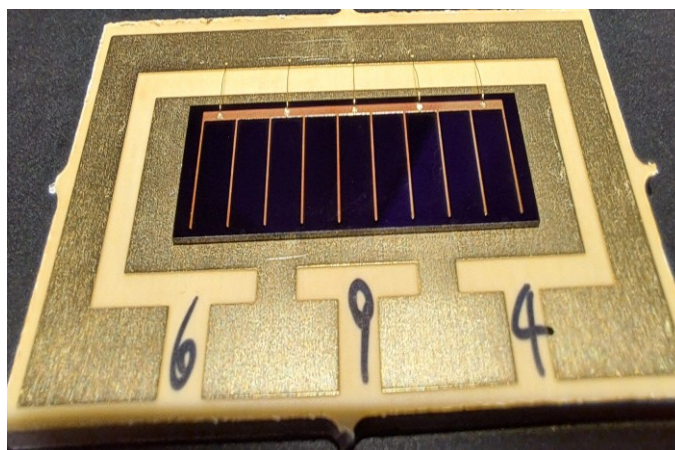


Fig.4: cella InGaP/Si assemblata su PCB

2.3 Caratterizzazione

I dispositivi processati sono stati caratterizzati con diverse tecniche come SEM, TEM, HRXRD, PL, EBIC, ECV al fine di valutare la morfologia, difettosità, qualità, drogaggio dei materiali utilizzati per la realizzazione dei dispositivi. A queste sono seguite caratterizzazioni elettriche per verificare il funzionamento della cella. La caratterizzazione morfologica mostra dei risultati analoghi a quelli già ottenuti nelle precedenti attività [1] finalizzate allo sviluppo delle strutture buffer su Si. Per quanto riguarda le caratterizzazioni elettriche la misura ECV (fig.5) mostra la presenza di una *depletion region* nel dispositivo a ridosso della zona d'interfaccia tra emitter e base del dispositivo.

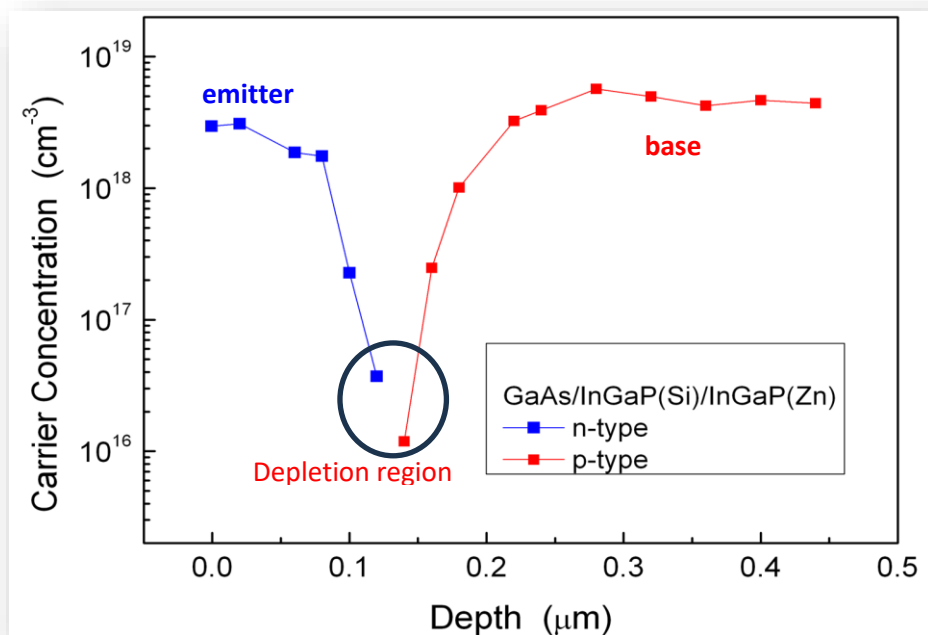


Fig.5: Profilo ECV cella InGaP su Si

Le misure IV fatte mostrano il comportamento del diodo che presenta una V_d di 0,6-0,7 V ed una corrente massima di 0,10 A/1,4V.

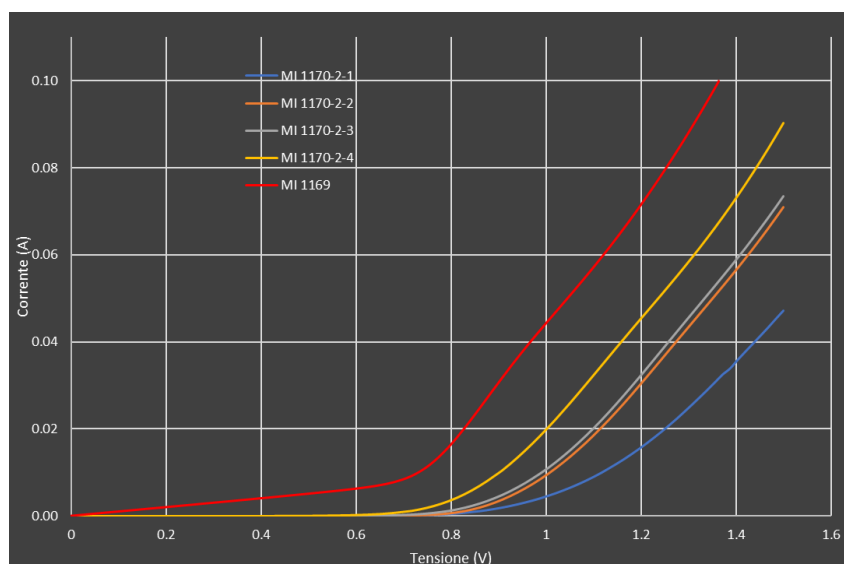


Fig.6: Profilo I-V del dispositivo InGaP/Si

3 Discussione e Conclusione

Una struttura buffer metamorfica di $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ a composizione variabile, ricavata utilizzando il programma di calcolo sviluppato nell'attività di ricerca Mission Innovation-IEMAP WP4 LA4.8 si è dimostrata essere una possibile soluzione per integrare i materiali III/V su Silicio, al fine di ottenere una crescita epitassiale di materiali con una ridotta difettosità da utilizzare per la realizzazione di un dispositivo fotovoltaico a singola giunzione (1J) in InGaP per sistemi LCs.

La struttura buffer simulata è stata cresciuta epitassialmente su substrati in Silicio da 6 pollici $\langle 100 \rangle$ 6° off e successivamente caratterizzata con diverse tecniche al fine di valutarne la morfologia, difettosità e qualità [1].

Su questa struttura buffer è stato depositato uno strato di InGaP con un contenuto in Indio pari al 20% con il quale è stata realizzata una cella fotovoltaica a singola giunzione con un band gap di 2,1 eV (valore target) da utilizzare in sistemi LCs con uno spettro d'emissione compreso tra i 500-700 nm.

Il dispositivo è stato caratterizzato con diverse tecniche e, al fine di valutare la morfologia, difettosità, qualità, drogaggio dei materiali utilizzati per la realizzazione dei dispositivi.

In conclusione, la struttura buffer metamorfica ricavata utilizzando il programma di calcolo si è dimostrata una possibile soluzione per poter integrare i materiali III/V su Silicio in particolare per quanto riguarda il composto InGaP in accordo con quanto descritto nel programma di ricerca Mission Innovation-IEMAP WP4 ove era prevista la realizzazione di strutture buffer necessarie per la crescita di celle fotovoltaiche in InGaP a singola giunzione ottenute attraverso le simulazioni effettuate con un programma di calcolo sviluppato per questo scopo.

Si è dimostrato che è possibile utilizzare tale approccio per la realizzazione di dispositivi solari III/V su Silicio da poter utilizzare in diverse applicazioni come ad esempio in sistemi LCs.

Bibliografia

- [1] A. Abagnale, E.Achilli, F.Annoni, N.Armani, M.Calicchio and P. Marzatico, *Caratterizzazione morfologiche e microanalisi di strutture III-V/buffer/silicio*, MI-IEMAP WP4 LA 4.8, 2023