



**MISSION
INNOVATION**

accelerating the clean energy revolution

POA MATERIALI AVANZATI PER L'ENERGIA

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

**D4.15 - Confronto prestazioni elettriche di dispositivo
fotovoltaico InGaP/Si con dispositivo InGaP/GaAs**

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

D4.15 - Confronto prestazioni elettriche di dispositivo fotovoltaico InGaP/Si con quelle di dispositivo InGaP/GaAs

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 REALIZZAZIONE DISPOSITIVO INGAP/Si	6
2.2 CARATTERIZZAZIONE ELETTRICA DEI DISPOSITIVI	8
3 DISCUSSIONE E CONCLUSIONE.	10
4 BIBLIOGRAFIA	11

Lista figure

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

Fig.2. Cella InGaP/Si assemblata su PCB

Fig.3. Assemblaggio cella InGaP/Si sul bordo della lastra luminescente

Fig.4: Misure indoor corrente–tensione (I-V) di buio e sotto illuminazione della cella

Fig.5. EQE cella InGaP/GaAs

Fig.6.Misure outdoor corrente tensione (I-V) cella InGaP/GaAs

Fig.7. Misure indoor corrente–tensione (I-V) di buio e sotto illuminazione della cella 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 elettricamente ed i risultati ottenuti confrontati con quelli ricavati dalla caratterizzazione elettrica dei dispositivi InGaP su GaAs.

1. Introduzione

Nel terzo anno di attività di ricerca MI-IMEAP per LA4.9 WP4 “**sviluppo di un prototipo di cella InGaP/Si ad ed analisi dei benefici ambientali ed economici**” è stato realizzato un dispositivo fotovoltaico in InGaP su strutture buffer III/V su Silicio ottenuti dalle precedenti attività modellistiche e sperimentali. È stato realizzato un dispositivo fotovoltaico a singola giunzione(1J) su cui sono state eseguite le caratterizzazioni elettriche indoor e outdoor confrontandole con analoghe misure elettriche effettuate su dispositivi InGaP cresciuto su GaAs.

Il seguente rapporto riassume i risultati e le conclusioni a cui si è giunti.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Realizzazione Dispositivo InGaP/Si

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

Il dispositivo prodotto ha la seguente composizione: $\text{In}_{0,20}\text{Ga}_{0,80}\text{P}$ con emitter N-type ed base P-type ottenuti mediante drogaggio con Zn (Zinco) (4.5×10^{18}) e Si(Silicio) (1.5×10^{18}) rispettivamente per la base e per l'emitter. Il flusso di processo utilizzato per la sua realizzazione è qui sotto riportato:

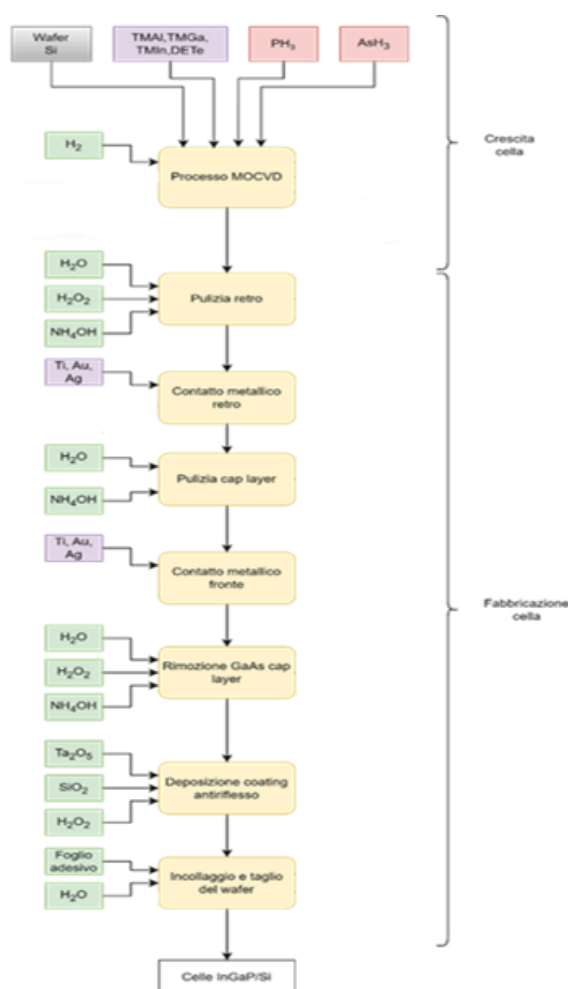


Fig.1: Flusso di processo lavorazione Cella fotovoltaica 1J InGaP/Si

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 caratteristiche geometriche 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

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 μ m di diametro.

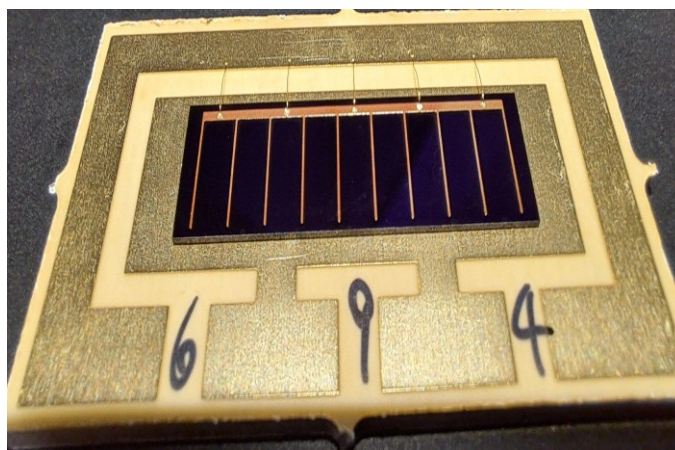


Fig.2: Cella InGaP/Si assemblata su PCB

I dispositivi sono stati poi caratterizzati elettricamente sia in condizioni indoor che outdoor riproducendo le medesime condizioni utilizzate per le misurazioni dei dispositivi realizzati su GaAs. Per le misure indoor è stato utilizzato un simulatore solare G173D a 1 sole mentre per le misure outdoor il dispositivo è stato assemblato su di una lastra LCs come mostrato in figura 3:

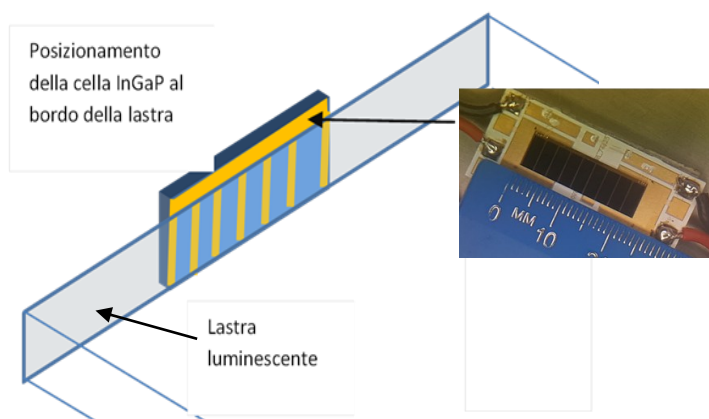


Fig.3. Assemblaggio cella InGaP/Si sul bordo della lastra luminescente

2.2 Caratterizzazione elettrica dei dispositivi

I dispositivi realizzati sono stati caratterizzati elettricamente sia con misure indoor che outdoor per ottenere le curve corrente-tensione (I-V) da cui estrapolare i parametri intrinseci dei dispositivi con lo scopo di confrontare le performance del dispositivo InGaP/Si con quello InGaP/GaAs.

Per primo è stato misurato e caratterizzato il dispositivo su Arseniuro di Gallio di cui si riportano i risultati ottenuti:

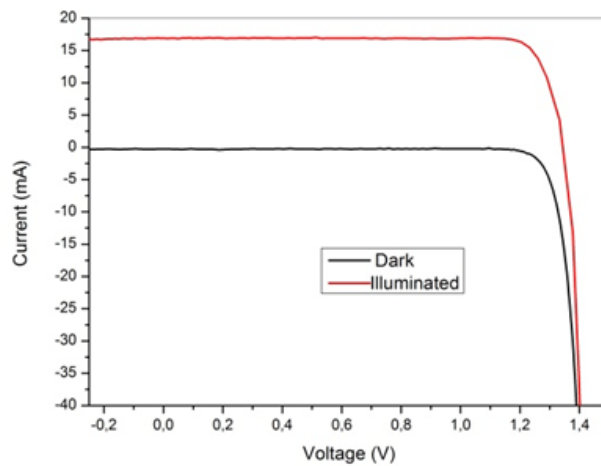


Fig.4: Misure indoor corrente-tensione (I-V) di buio e sotto illuminazione della cella InGaP/GaAs. Le misure sono state effettuate per mezzo del simulatore G173D 1 sole

La figura 4 mostra le curve I-V della cella InGaP/GaAs in condizioni di buio e di illuminazione effettuate con il simulatore solare. Dalla corrente di corto circuito è stata ricavata l'efficienza quantica esterna (EQE) della cella nell'intervallo di 360-900 nm che come mostrato nella figura 5 ha il suo massimo intorno ai 600 nm.

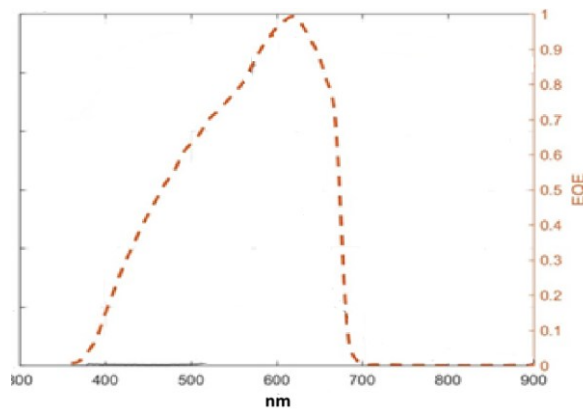


Fig.5. EQE cella InGaP/GaAs

Questa stessa cella misurata al simulatore è stata assemblata su di una lastra luminescente con spettro di emissione compreso tra 510-690 nm come indicato precedentemente e caratterizzata outdoor. La figura 6 mostra la curva I-V della cella InGaP/GaAs misurata sotto luce solare:

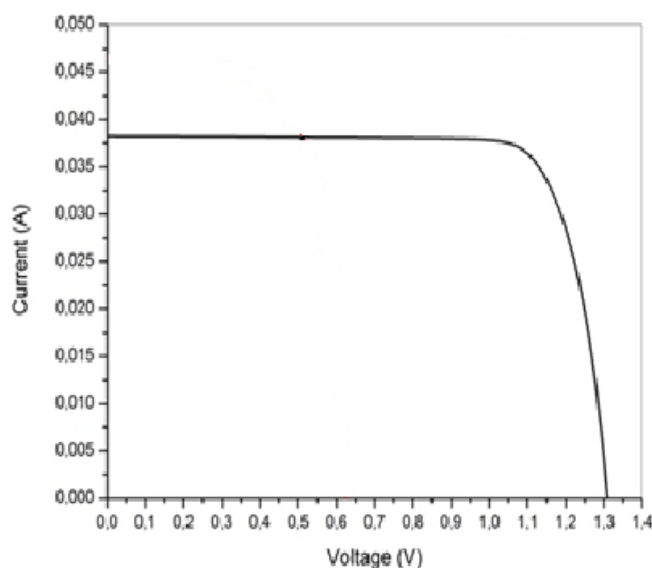


Fig. 6. Misure outdoor corrente tensione (I-V) cella InGaP/GaAs

La tabella 2 riassume i risultati ottenuti dalle misure elettriche outdoor del dispositivo in esame dove si può vedere che la cella InGaP/GaAs ha un'efficienza del 38.7% ed una potenza misurata di 40 mW.

Cella	Int Lum (W/m ²)(*)	Isc (mA)	Voc (V)	Im (mA)	Vm (V)	FF (%)	EFF (%)	Potenza Misurata (mW)
InGaP/GaAs	768	38.2	1.309	36.3	1.102	80	38.7	40

(*) Int Lum indica l'integrale dello spettro misurato al bordo della lastra ed incidente sulla cella

Tab. 2: Parametri elettrici caratteristici delle curve I-V misurate outdoor per la cella InGaP/GaAs

Quindi si è proceduto ad effettuare le misure della cella InGaP/Si replicando quanto già fatto per la cella di InGaP/GaAs. Ma già dalle misure al simulatore solare si è osservato che il dispositivo non produceva corrente sia in condizioni di buio che sotto illuminazione, come mostrato dalla figura 7:

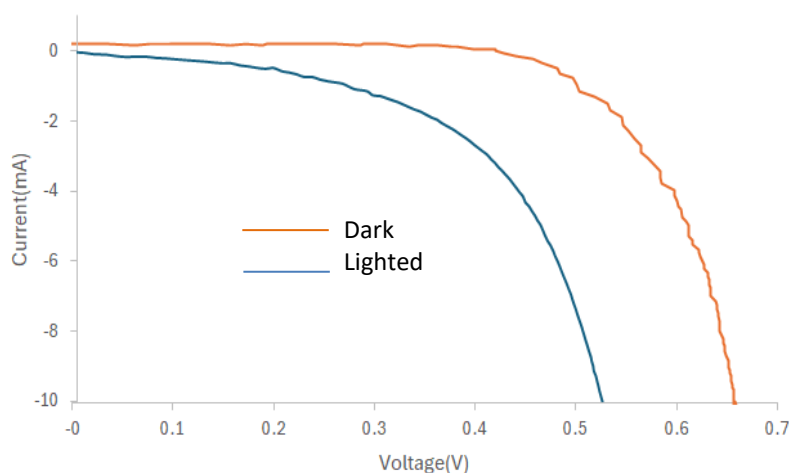


Fig. 7. Misure indoor corrente-tensione (I-V) di buio e sotto illuminazione della cella InGaP/Si. Le misure sono state effettuate per mezzo del simulatore G173D 1 sole

Il valore della corrente nei due casi è pressoché nulla mentre la Voc è di circa 0.4 -0.5 V, valori ben lontani da quelli ottenuti dalla cella InGaP/GaAs.

Si è quindi eseguita un'analisi di tutto il flusso di processo utilizzato per la realizzazione del dispositivo al fine di individuare la possibile causa del malfunzionamento della cella. Tra le possibili cause quella più probabile è il drogaggio della giunzione N-P del diodo. Un non corretto drogaggio dell'emitter e/o della base del dispositivo non consentirebbe il corretto funzionamento del dispositivo non generando una adeguata regione di svuotamento della giunzione. Altra potenziale causa potrebbe essere dovuta a difetti alle interfacce che costituirebbero centri di ricombinazione per i portatori minoritari. Ma per individuare esattamente quali sia la causa bisognerebbe avviare una serie di test mirati ma tale eventuale attività potrà essere svolta al di fuori dell'attuale programma di ricerca.

3 Discussione e Conclusione

Una struttura buffer metamorfica di $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ a composizione variabile su Silicio, ricavata utilizzando il programma di calcolo sviluppato nell'attività di ricerca Mission Innovation-IEMAP WP4 LA4.8 è stata utilizzata per la realizzazione di un dispositivo fotovoltaico a singola giunzione (1J) in InGaP nel terzo anno di attività di ricerca per LA 4.9 *"sviluppo di un prototipo di cella InGaP/Si ad ed analisi dei benefici ambientali ed economici"* su cui sono state eseguite le caratterizzazioni elettriche indoor e outdoor confrontandole con analoghe misure elettriche effettuate su dispositivi InGaP cresciuto su GaAs.

I dispositivi messi a confronto sono stati prodotti usando lo stesso set di maschere litografiche quindi con le stesse caratteristiche in termini di layout e area attiva e sono stati caratterizzati elettricamente sia con misure indoor che outdoor per ottenere le caratteristiche curve corrente-tensione (I-V) da cui estrapolare i parametri intrinseci al fine di confrontare le performance del dispositivo InGaP/Si con quello InGaP/GaAs.

Mentre nel caso del dispositivo su GaAs si è misurata una potenza prodotta di 40 mW nel caso della cella su Si non si è misurata nessuna corrente sia in condizioni di corto circuito che sotto illuminazione, manifestando un malfunzionamento dovuto al probabile non ottimale livello di drogaggio della giunzione emitter/base.

In conclusione, si è definito un flusso di processo per la realizzazione di dispositivi fotovoltaici a singola giunzione basati su InGaP attraverso una struttura buffer ricavata utilizzando il programma di calcolo sviluppato durante il triennio di ricerca e dimostrando che è possibile integrare i materiali III/V su Silicio da utilizzare per la realizzazione di celle fotovoltaiche per differenti 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.