

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901703327A1

Publication Date

20100812

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

PANNELLO SOLARE CON DUE MODULI FOTOVOLTAICI MULTICELLULARI
MONOLITICI DI DIVERSA TECNOLOGIA

Il presente trovato concerne la conversione fotovoltaica di energia ed in particolare i pannelli solari a tecnologia a film sottile.

Pannelli solari a film sottile stanno guadagnando favore nell'industria dei pannelli solari per la loro intrinseca potenzialità di consentire una significativa riduzione dei costi rispetto a quelli della tecnologia standard basata sull'impiego di wafer di silicio. Pannelli solari a base di una struttura fotovoltaica utilizzando uno strato semiconduttore di tellururo di cadmio (CdTe) formato sopra un adatto supporto, sono accreditati per conseguire costi di conversione ben al di sotto di 2,00 USD/W e in prospettiva intorno a 1,00 USD/W.

Altre tecnologie a film sottile di calcogenuri ternari o quaternari sono le strutture fotovoltaiche denominate CIS (Copper Indium di-Selenide) e CIGS (Copper Indium Gallium di-Selenide) che promettono rendimenti di conversione superiori al 10%, con costi molto competitivi.

Valori di rendimento simili o persino migliori sono stati verificati utilizzando tecnologia a film sottile basata sul silicio amorfo idrogenato (a-Si:H). Al costo estremamente più basso del silicio metallurgico rispetto al costo di elementi come cadmio, indio, tellurio, si aggiunge il vantaggio di essere completamente esente da materiali tossici come ad esempio il cadmio e quindi più facilmente smaltibili nell'ambiente senza ricorso a costose pratiche di recupero di sostanze non disperdibili nell'ambiente, al termine della vita operativa di un pannello.

Tra i molti fattori che possono condizionare la scelta di una tecnologia

a film sottile tra quelle disponibili non può trascurarsi il fatto che tra tali diverse tecnologie di fabbricazione di pannelli solari a film sottile esistono differenze importanti dal punto di vista del funzionamento in relazione allo spettro solare.

Una struttura fotovoltaica di silicio amorfo idrogenato (diodo p-i-n o n-i-p) ha un band-gap relativamente elevato (poco meno di 2 eV) che rende il semiconduttore particolarmente efficiente nel convertire la parte blu dello spettro solare, ma non la parte rossa. Peraltro, il silicio amorfo idrogenato tende ad "intrappolare" significativamente portatori (in particolare lacune) durante il suo funzionamento, obbligando a limitare lo spessore dello strato semiconduttore intrinseco (i) delle strutture p-i-n o n-i-p, a poche centinaia di nanometri. Inoltre, il silicio amorfo idrogenato è soggetto a degrado, generalmente attribuito a desorbimento di idrogeno da difetti strutturali del materiale (i D-center).

L'insieme di queste peculiarità porta ad utilizzare il silicio amorfo idrogenato in forma di una struttura p-i-n o n-i-p relativamente sottile, primariamente adatta ad assorbire radiazione blu-verde dello spettro solare. Per quanto attiene all'assorbimento della radiazione rossa, ad esso si rinuncia privilegiando un più basso costo del pannello o è attuato da una seconda struttura fotovoltaica tandem di altro semiconduttore o realizzando strutture fotovoltaiche multigiunzione. I semiconduttori generalmente adoperati per la struttura tandem o multigiunzione associata alla struttura di silicio amorfo idrogenato sono il silicio microcristallino, leghe idrogenate di silicio-

germanio (a-SiGe:H), calcogenuri ternari (ad esempio CIS) o quaternari (ad esempio CIGS) (Ref. 1). Il caso della struttura tandem di silicio amorfo idrogenato e di silicio microcristallino è nota nell'industria con il nome di cella micromorfa.

Questi come altri sviluppi basati su strutture tandem o multigiunzione sono efficaci, ma fino ad oggi hanno portato a conseguire rendimenti di conversione di potenza che al più arrivano, a livello di modulo, al 13% [2], cioè ben al di sotto del limite teorico delle singole strutture fotovoltaiche combinate assieme.

Come è ben noto ad un esperto della materia, specificità di una tecnologia a film sottile rispetto alle altre possono annullare in parte o controbilanciare negativamente certe peculiarità altrimenti superiori alle altre tecnologie a film sottile

La cella micromorfa, promettente dal punto di vista di contenimento di costo e dell'affidabilità, ha il problema di un valore di corrente di cortocircuito estremamente inferiore al limite teorico. Ciò è dovuto al modesto assorbimento della radiazione nella regione rossa dello spettro solare. L'incremento di spessore del materiale intrinseco microcristallino allevia questo problema ma implica un notevole incremento di costo.

Per contro, le strutture CIS e CIGS sono efficienti pur utilizzando film sottili, nell'ordine di 1,0 μm . Questo è dovuto al fatto che, diversamente dal silicio e dal silicio microcristallino, questi materiali sono semiconduttori a band gap diretto che consentono un'efficiente cattura di fotoni anche in film

molto sottili. Fino ad oggi, i migliori risultati sono ottenuti con materiali semiconduttori CIS o CIGS a basso band gap, benché sussistano limiti dovuti al fenomeno della ricombinazione dei portatori nella regione di carica spaziale della struttura di conversione fotovoltaica.

Come nel caso del silicio amorfo, anche in questi materiali è possibile aggiustare il valore di band gap, ad esempio utilizzando CIGS e cambiando il contenuto di Ga rispetto a quello dello In. Tuttavia, aumentando il band-gap, da circa 1,0 a circa 1,5 eV, si osserva una diminuzione del rendimento di conversione di potenza di circa un fattore 2. Ciò indica una intrinseca inefficienza delle celle fotovoltaiche a base di calcogenuri nel convertire la parte blu dello spettro solare.

Una struttura ideale appare quella di una combinazione tra una struttura di fondo CIS, CIGS o CdTe, ed una struttura di silicio amorfo. La risultante struttura fotovoltaica multigiunzione è in grado di convertire efficientemente sia la parte rossa che la parte blu dello spettro solare [1]. La luce solare attraversa per prima la struttura di diodo fotovoltaico di silicio amorfo che assorbe e converte radiazione preminentemente di lunghezza d'onda compresa nella regione del blu dello spettro mentre la parte verde-rossa dello spettro attraversa il silicio, assorbita solo in misura modesta, ed è quindi assorbita e convertita efficientemente dalla sottostante struttura CIS, CIGS o CdTe, di fondo, realizzata con materiale semiconduttore a gap diretto con spessore sufficiente ad assorbire sostanzialmente tutta la radiazione.

Questo tipo di "stack" tipicamente monolitico della tecnica nota [1] ha

lo svantaggio che le celle delle strutture di conversione fotovoltaica di diversa tecnologia sono elettricamente in serie e quindi attraversate dalla stessa corrente, fatto che può limitare fortemente il rendimento complessivo di conversione di potenza.

E' stato trovato che la penalizzazione insita nella pratica di progettare le due strutture fotovoltaiche multicellulari di diversa tecnologia, le cui celle sono elettricamente in serie, in modo che assorbano più o meno complementariamente radiazioni di regioni diverse dello spettro erogando per quanto possibile la stessa corrente per unità d'area, è evitabile e che l'incremento di rendimento complessivo che se ne consegue è sorprendentemente grande.

Non imponendo che le celle di diversa tecnologia generino la stessa corrente per unità d'area, rende possibile, ad esempio, assorbire e convertire efficientemente la sola radiazione blu dello spettro con una struttura fotovoltaica impiegante celle di un sottile strato di a-Si:H, nonostante che producano una corrente per unità d'area (JSC) relativamente bassa, ed assorbire e convertire radiazione della restante parte dello spettro con una struttura fotovoltaica sottostante, impiegante celle con semiconduttore intrinseco a base di calcogenuri, ad esempio di CuInTe₂, CuInSe₂, CuGaTe₂, CuGaSe₂ o CdTe, senza la condizione di contorno di avere la stessa JSC nelle celle di entrambe le due strutture fotovoltaiche multicellulari, come avviene nelle cosiddette strutture tandem della tecnica anteriore.

Inoltre, le odierne tecnologie di fabbricazione di strutture fotovoltaiche

multicellulari cosiddette a-Si:H, CIGS, CIS e CdTe, sono molto diverse tra loro e la realizzazione di moduli fotovoltaici a struttura ibrida monolitica pone problemi tecnologici e di processo di difficile soluzione.

Fondamentalmente, secondo il trovato oggetto della presente domanda un pannello solare è costituito da due distinti moduli di conversione fotovoltaica monolitici, la struttura fotosensibile di uno dei due moduli essendo formata su un supporto piano trasparente che costituisce la faccia frontale del pannello atta ad essere illuminata dalla radiazione solare, mentre la struttura fotosensibile dell'altro modulo è formata su un supporto piano, parallelo e posto ad una certa distanza sotto il supporto trasparente del primo modulo, che può anche essere di materiale opaco e costituisce il fondo del pannello. Le strutture fotovoltaiche multicellulari di ciascun modulo sono di diversa tecnologia ed hanno caratteristiche funzionali in buona misura complementari, così da operare individualmente una conversione fotovoltaica ad elevato rendimento in regioni diverse più o meno complementari tra loro dello spettro solare, e dimensionando le strutture multicellulari dei due moduli distinti di conversione fotovoltaica dipendentemente da una scelta di progetto che chieda ai due moduli fotovoltaici di generare tensioni simili o che i due moduli erogino una corrente il più possibile simile alle condizioni di illuminazione del pannello. Opzionalmente, i due distinti moduli fotovoltaici del pannello possono essere indipendentemente collegati all'impianto di generazione, tipicamente comprendente un pluralità di pannelli, secondo un ottimale schema di collegamento serie-parallelo che può

essere anche di tipo adattativo, disponendo di adatti selettori di percorso controllati da un sistema di controllo.

I due moduli possono essere collegati in serie o in parallelo durante fasi di back-end del processo di fabbricazione dei pannelli, attraverso saldatura, bonding o equivalente operazione di collegamento di conduttori metallici, incapsulamento ed unione dei due moduli con una resina trasparente, ad esempio con vinil acetato di etilene (EVA).

Secondo un'altra forma alternativa di realizzazione del presente trovato, la connessione elettrica dei due distinti moduli fotovoltaici del pannello a due terminali elettrici del pannello, è attuata attraverso un apposito circuito convertitore MPPT (Maximum Power Point Tracker), avente due coppie di nodi di ingresso per i rispettivi moduli, incapsulato all'interno dello stesso pannello durante il processo di incapsulamento ed unione dei moduli con una idonea resina (ad esempio EVA), oppure alloggiando il circuito convertitore MPPT all'interno del "junction box" del pannello.

L'area attiva di ciascuna cella, il numero complessivo di celle e quindi la stessa area attiva complessiva della struttura fotovoltaica di ciascun modulo sono parametri indipendentemente definibili per ciascuno dei due moduli, in dipendenza dalla maniera in cui i due moduli del pannello sono elettricamente collegati al circuito esterno dell'impianto di generazione.

Secondo una forma particolarmente efficiente di realizzazione del presente trovato, sulla faccia interna di una lastra di supporto trasparente, tipicamente di vetro, viene realizzata una prima struttura di conversione

fotovoltaica multicellulare di silicio, utilizzando ad esempio un film di silicio amorfo idrogenato (a-Si:H) di spessore compreso tra circa 100 e 500 nm come strato semiconduttore intrinseco di una struttura di diodo di tipo n-i-p (o p-i-n), tra un film trasparente di materiale conduttore (TCO), ad esempio di ossido di stagno drogato con fluoro ($\text{SnO}_2\text{:F}$), ossido di zinco drogato con alluminio (ZnO:Al) o un ossido misto di zinco e indio, o altri ossidi misti ed ossidi sub-stechiometrici che presentino una sufficiente conduttività elettrica, depositato sulla faccia interna della lastra di vetro di supporto, opportunamente definito mediante scrittura laser, serigrafia, tampografia e successivo attacco o tecnica equivalente comunemente utilizzata per questo tipo di struttura cellulare, ed un secondo strato di materiale conduttore trasparente (TCO) depositato sopra lo strato semiconduttore di silicio amorfo a loro volta definiti con le medesime tecniche.

La definizione degli strati depositi in successione è attuata per realizzare una struttura multicellulare di distinti diodi o celle di conversione fotovoltaica, elettricamente in serie tra loro ed eventualmente connesse in parallelo per gruppi di serie in serie definite da dette operazioni di definizione degli strati via via depositi, secondo pratiche peraltro comuni alla fabbricazione di moduli fotovoltaici.

Sopra la faccia interna di un supporto piano che può anche essere opaco, ad esempio una lastra di vetro ceramica, ceramica o di metallo eventualmente rivestito di uno strato di materiale non conduttore, ad esempio una lega di rame, acciaio, titanio, alluminio, la cui superficie interna sia resa

elettricamente isolante o da uno strato di ossidi cresciuti o depositati sulla superficie del metallo o da uno strato ceramico o vetro-ceramico, viene realizzata una struttura fotovoltaica multicellulare a base di CuInTe_2 , CuInSe_2 , CuGaTe_2 , CuGaSe_2 o CdTe , (ad esempio una struttura CIS, CIGS o CcTe). Lo strato semiconduttore della struttura fotovoltaica può essere formato tra un primo strato definito di alluminio o altro metallo o lega metallica ed uno strato di materiale conduttore trasparente (TCO), anch'esso così come lo strato di semiconduttore intrinseco appropriatamente definiti mediante usuali tecniche di scrittura laser, serigrafia, tampografia e successivo attacco.

Ciascuno dei due moduli così indipendentemente costituiti ha piazzole metallizzate, rispettivamente di segno positivo e negativo della struttura fotovoltaica multicellulare, alle quali risultano collegate, secondo un certo schema serie-parallelo di interconnessione, le singole celle aventi una determinata area attiva.

La **FIG. 1** è una vista schematica in sezione di un primo modulo fotovoltaico comprendente una pluralità di celle in serie.

La **FIG. 2** illustra schematicamente un secondo modulo fotovoltaico multicellulare avente una pluralità di celle in serie.

La **FIG. 3** illustra schematicamente l'architettura di un pannello solare del presente trovato in cui i due distinti moduli sono elettricamente collegati in parallelo.

La **FIG. 4** illustra schematicamente un pannello solare del presente

trovato in cui i due distinti moduli sono elettricamente collegati in serie.

La **FIG. 5** illustra schematicamente un pannello solare secondo il presente trovato in cui i due distinti moduli sono elettricamente accoppiati tra loro attraverso un circuito convertitore MPPT.

La **FIG. 6** mostra le diverse caratteristiche di assorbimento di una struttura fotovoltaica di silicio amorfo e di una struttura fotovoltaica CIGS, con illuminazione AM1.5G.

La **FIG. 7** mostra curve caratteristiche di assorbimento e di conversione con illuminazione AM1.5G di un pannello solare del presente trovato comprendente un modulo di silicio amorfo idrogenato (300nm) ed un sottostante modulo fotovoltaico CIGS (2 μ m), assumendo perdite nulle.

La **FIG. 8** mostra la distribuzione spettrale della potenza radiante incidente, della potenza assorbita dalla struttura di silicio amorfo, la potenza assorbita dalla struttura CIGS e la potenza convertita dal pannello solare.

Con riferimento alle **FIG. 1 e 2**, due moduli fotovoltaici di diversa tecnologia per massimizzare l'assorbimento dell'intero spettro solare possono avere un diverso numero di celle di area attiva diversa.

In pratica, l'area attiva complessiva della struttura fotovoltaica multicellulare di un modulo può essere diversa da quella dell'altro modulo.

Nell'esempio considerato, il primo modulo fotovoltaico illustrato in **FIG. 1** è costituito da una struttura fotovoltaica multicellulare con strato semiconduttore di silicio amorfo idrogenato (a-Si:H), formata su un supporto 1 trasparente, ad esempio su una lastra di vetro o materiale trasparente

equivalente.

In FIG. 1 sono identificati i due strati conduttori trasparenti di TCO e lo strato semiconduttore di silicio amorfo idrogenato a-Si:H della struttura di diodo p-i-n o n-i-p fotosensibile.

Come è osservabile, gli strati sono depositi in successione sulla superficie del lato o faccia interna del supporto trasparente 1.

Ciascun strato depositato è definito mediante una adatta tecnica, ad esempio scrittura laser, definizione serigrafica di linee di attacco dello strato depositato, tampografia o altre equivalenti tecniche di definizione normalmente usate nell'industria dei pannelli solari.

E' facilmente osservabile come tutti e tre gli strati vengono definiti formando linee di interruzione ad intervalli identici, sfalsando la maschera o la posizione di tracciatura laser strato dopo strato.

Nel caso di una struttura fotovoltaica a base di silicio amorfo idrogenato (a-Si:H), dopo aver formato uno strato conduttore di TCO sulla superficie interna del supporto trasparente 1 per definire gli elettrodi dei distinti diodi (celle fotovoltaiche), mediante CVD o tecniche analoghe vengono depositati e definiti in sequenza lo strato semiconduttore p, lo strato intrinseco di a-Si:H non drogato, lo strato semiconduttore n, dopo di che viene depositato o cresciuto uno strato di ossido conduttore TCO che sarà a sua volta definito per realizzare i contro elettrodi dei diodi.

In questo modo si definiscono più celle che risultano elettricamente in serie tra loro.

In **FIG. 2** è osservabile la schematizzazione di una struttura fotovoltaica CIGS formata sulla superficie interna del supporto 2 del secondo modulo.

In maniera simile al primo modulo, anche per il secondo modulo della **FIG. 2** gli strati sono depositi in successione definendone la geometria cellulare strato per strato con tecniche analoghe a quelle usate per definire gli strati della struttura fotovoltaica multicellulare della **FIG. 1**.

Le illustrazioni sono puramente schematiche e non in scala.

Mentre per l'esempio considerato, lo strato semiconduttore intrinseco di silicio amorfo a-Si:H può avere uno spessore generalmente compreso tra 100 e 500 nm, lo strato semiconduttore intrinseco della struttura CIGS può avere uno spessore generalmente compreso tra circa 0,5 μm e circa 4 μm .

Come schematicamente illustrato, l'area delle singole celle ed il numero di celle in cui è suddivisa la struttura fotovoltaica CIGS sono generalmente diversi rispetto a quelli della struttura fotovoltaica del modulo della **FIG. 1**, di silicio amorfo.

Come schematicamente illustrato in **FIG. 3**, i due moduli della **FIG. 1** e **2** sono accoppiati a costituire un pannello solare la cui faccia illuminata è costituita dalla superficie esterna del supporto trasparente 1 del primo modulo fotovoltaico di silicio amorfo della **FIG. 1**, mentre il fondo del pannello solare è costituito dalla superficie esterna del supporto 2 del secondo modulo fotovoltaico CIGS della **FIG. 2**.

L'accoppiamento è preferibilmente attuato mediante incapsulamento

congiunto delle due distinte strutture fotovoltaiche multicellulari con un'adatta resina termoformabile, comunemente con EVA o equivalente.

In pratica, la resina trasparente fluidificata può essere iniettata o compressa nello spazio di separazione tra le due strutture fotovoltaiche multicellulari, incapsulando la pluralità di celle e i conduttori di collegamento elettrico delle due strutture, così da formare (con il raffreddamento della resina) un corpo solido composito del pannello, il cui retro e fronte sono rispettivamente costituiti dal supporto opaco 2 e dal supporto trasparente 1 dei due moduli così permanentemente uniti tra loro dallo strato solidificato di resina trasparente EVA che riempie tutti gli interstizi di definizione delle celle.

Lo spazio di separazione tra le due strutture che viene riempito completamente dalla resina di incapsulamento congiunto delle due strutture può avere uno spessore generalmente compreso tra 0,5 e 10 mm.

La connessione in parallelo dei due distinti moduli fotovoltaici che compongono il pannello solare soddisfa un requisito di progetto dell'impianto di generazione che i due moduli del pannello generino con buona approssimazione la stessa tensione.

Con riferimento alla **FIG. 4**, la connessione elettrica dei due moduli può alternativamente essere in serie nel caso in cui un requisito di progetto dell'impianto di generazione richieda che le due diverse strutture fotovoltaiche generino con buona approssimazione la stessa corrente, così da sommare in modo efficiente le potenze erogate dai due moduli del pannello.

Secondo un'ulteriore forma di realizzazione del pannello del presente trovato, i due differenti moduli di conversione fotovoltaica sono progettati senza stabilire a priori uguaglianza di generazione di correnti o di tensione e sono elettricamente accoppiati tra loro attraverso un apposito circuito convertitore MPPT (Maximum Power Point Tracker) che provvede a ottimizzare la resa istantanea in potenza del pannello solare nelle diverse condizioni di illuminazione. Il circuito MPPT può essere, come illustrato schematicamente in **FIG. 5**, incapsulato nel corpo del pannello durante la fase di accoppiamento ed incapsulamento dei due moduli, oppure alternativamente il circuito MPPT può essere alloggiato nella junction box del pannello solare.

La superficie esterna del supporto trasparente 1 del modulo frontale del pannello può essere goffrata (textured) secondo comuni pratiche per massimizzare la cattura della luce solare e/o dotata di un rivestimento esterno di un materiale antiriflesso, ad esempio di nitruro di silicio, ossido di titanio o di silicio, multistrati dielettrici degli stessi o di altri materiali equivalenti, il cui spessore generalmente non supera i 500nm benché possa essere anche più spesso.

La **FIG. 6** mostra le curve caratteristiche di assorbimento di una struttura fotovoltaica di silicio amorfo idrogenato (300nm) e di una struttura fotovoltaica CIS (2 μ m) con una illuminazione AM1.5G.

La **FIG. 7** mostra curve caratteristiche di assorbimento e di conversione con una illuminazione AM1.5G di un pannello solare comprendente un

modulo fotovoltaico di silicio amorfo idrogenato, con spessore dello strato semiconduttore intrinseco di 300nm, ed un sottostante modulo fotovoltaico CIS, con spessore dello strato semiconduttore intrinseco di 2 μm , ed assumendo perdite nulle.

L'accoppiamento ottimale calcolato è per una struttura CIS avente una band gap di circa 1 eV. Questo requisito è soddisfatto da una struttura CIS di CuInSe_2 benché altri calcogenuri come ad esempio CuInTe_2 , CuInSe_2 , CuGaTe_2 , CuGaSe_2 e CdTe possono avere prestazioni ugualmente soddisfacenti.

Idealmente il livello di rendimento di conversione di potenza massima che può essere raggiunto può avvicinarsi a circa 50%, purtroppo tale livello non è praticamente raggiungibile a causa di inevitabili "mismatch" ottici (riflessioni parassite dovute alla differenza di indice di rifrazione alle interfacce), ricombinazione dei fotoportatori e luce assorbita dagli strati "inerti" (TCO, EVA, strati semiconduttori drogati di contatto con gli elettrodi di TCO o di metallo, etc.). Questi effetti sono trascurati nel calcolo di cui alle FIG. 7 e 8. Tuttavia, l'ottimizzazione delle strutture può migliorare notevolmente le performance e condurre verso il valore ideale. Questo è quanto si è verificato, ad esempio, nel caso del silicio cristallino, dove il record di laboratorio è significativamente vicino al limite teorico.

La **FIG. 8** mostra la distribuzione spettrale della potenza radiante incidente, della potenza assorbita dalla struttura di silicio amorfo, la potenza assorbita dalla struttura CIGS e la distribuzione spettrale della potenza

convertita.

Come sopra detto, i valori riportati risultano da un numero di assunzioni ideali ed in particolare, assumendo riflettività nulla a tutte le interfacce attraversate dalla radiazione, nessuna ricombinazione, ed assenza di perdite dovute ad effetti ohmici. Tuttavia, considerando semplicemente che rendimenti nell'ordine del 15-20% e dell'8-10% sono ottenibili rispettivamente nel modulo CIGS e nel sovrastante modulo a base di silicio amorfo, è realistico concludere che svincolando completamente le due strutture fotovoltaiche di differente tecnologia è possibile ottimizzare il "match" tra ciascuna struttura fotovoltaica ed una rispettiva regione dello spettro solare (la struttura a silicio amorfo più adatta alla conversione in potenza elettrica della radiazione della regione tendente al blu dello spettro mentre la struttura CIGS è più adatta alla conversione in potenza elettrica della radiazione della regione tendente al rosso dello spettro) per cui un rendimento complessivo di conversione di potenza pari a circa 30% è indubbiamente conseguibile con architetture di pannello solare del presente trovato.

Bibliografia

- [1] Monolithic Multi-junction Solar Cells with amorphous silicon and CIS and their alloys, US Patent N. 6,368,892 B1, R.R. Arya, BP Corp., Apr. 9, 2002.
- [2] Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa and Wilhelm Warta, Prog. Photovolt: Res. Appl. 2008; 16:61–67.

RIVENDICAZIONI

1. Pannello solare comprendente:

un primo modulo fotovoltaico multicellulare a film sottile avente un numero N di celle di una certa area A_N , collegate secondo un certo schema serie-parallelo ad un terminale negativo e ad un terminale positivo del modulo, di una prima tecnologia di fabbricazione su un primo supporto trasparente costituente una superficie frontale del pannello;

un secondo modulo fotovoltaico multicellulare a film sottile avente un numero M di celle di una certa area A_M collegate secondo un certo schema serie-parallelo ad un terminale negativo e ad un terminale positivo del modulo, di una seconda tecnologia di fabbricazione su un secondo supporto costituente una superficie del retro del pannello;

i terminali di detti due distinti moduli essendo collegati in serie o in parallelo ad un terminale positivo e ad un terminale negativo del pannello solare per connessione ad un circuito elettrico esterno.

2. Pannello solare secondo la rivendicazione 1, in cui detti terminali dei due distinti moduli fotovoltaici sovrapposti sono elettricamente accoppiati al terminale positivo e al terminale negativo del pannello solare attraverso un circuito convertitore MPPT incorporato nel pannello solare.

3. Pannello solare secondo la rivendicazione 1, in cui le celle di detto primo modulo fotovoltaico sono di una tecnologia a film sottile di silicio

amorfo idrogenato e le celle di detto secondo modulo fotovoltaico sono di una tecnologia a film sottile di un calcogenuro appartenente al gruppo composto da CuInTe_2 , CuInSe_2 , CuGaTe_2 , CuGaSe_2 e CdTe .

4. Pannello solare secondo la rivendicazione 1, in cui la dimensione di cella, il numero di celle e lo schema serie-parallelo di collegamento elettrico delle celle di ciascuno dei due moduli fotovoltaici di differente tecnologia sono indipendentemente adattate per equalizzare o la corrente generata o la tensione generata dai due distinti moduli dipendentemente dal fatto che i due moduli sono collegati in serie o in parallelo ai terminali del pannello solare.

5. Pannello solare secondo la rivendicazione 1, in cui il primo modulo fotovoltaico multicellulare è unito al secondo modulo fotovoltaico multicellulare da uno strato di resina trasparente stampata a sandwich tra i due moduli.

6. Pannello solare secondo la rivendicazione 1, in cui detto primo modulo a strutture di diodi fotovoltaici di silicio amorfo con strato semiconduttore intrinseco di spessore compreso tra 100 e 500 nm e detto secondo modulo ha una struttura di diodi fotovoltaici di un calcogenuro con strato semiconduttore intrinseco di spessore compreso tra 0,5 e 4 μm .

7. Pannello solare secondo la rivendicazione 6, in cui detto calcogenuro appartiene al gruppo composto da CuInTe_2 , CuInSe_2 , CuGaTe_2 , CuGaSe_2 e CdTe .

8. Pannello solare secondo la rivendicazione 7, in cui detto

semiconduttore intrinseco di calcogenuro ha un band-gap diretto di circa 1,0 eV.

9. Pannello solare secondo la rivendicazione 6, in cui detto strato semiconduttore intrinseco di silicio amorfo ha un band-gap tra 1,5-2 eV.



p.p. STMicroelectronics S.r.l.

Il Mandatario _____

Alberto PELLEGRINI
N° Iscr. Albo 114 BM

(Società Italiana Brevetti S.p.A.)

BI470V

CLAIMS

1. A solar panel comprising:
 - a first multicell thin-film photovoltaic module having a number N of cells of a certain area A_N connected according to a certain series-parallel scheme to a negative and to a positive terminal of the module of a first fabrication technology on a first transparent support constituting a front surface of the panel;
 - a second multicell thin-film photovoltaic module having a number M of cells of a certain area A_M connected according to a certain series-parallel scheme to a negative and to a positive terminal of the module of a second fabrication technology on a second support constituting a rear surface of the panel;
 - the terminals of said distinct modules being connected in electrical series or in parallel to a positive and to a negative terminal of the solar panel for connection to an external circuit.
2. The solar panel according to claim 1, wherein said terminals of the two superimposed distinct modules are coupled to the positive terminal and negative terminal of the solar panel through a maximum power point tracker converter circuit embedded in the solar panel.
3. The solar panel according to claim 1, wherein the cells of said first photovoltaic module are of a thin film hydrogenated amorphous silicon technology and the cells of said second module is of a chalcogenides technology belonging to the group composed of CuInTe_2 , CuInSe_2 , CuGaTe_2 , CuGaSe_2 and CdTe .
4. The solar panel according to claim 1, wherein cell size, number of

cells and series-parallel scheme of electrical connection of the cells of the each of the two modules of different technology are independently adapted for equalizing either current generation or voltage generation by the two distinct modules depending on whether they are connected in series or in parallel to the terminals of the solar panel.

5. The solar panel according to claim 1, wherein the first multicell module is bonded to the second multicell module by a layer of transparent resin molded there between.

6. The solar panel according to claim 1, wherein said first module has an amorphous silicon photovoltaic diode structure having an intrinsic semiconductor layer of thickness comprised between 100 and 500 nm and said second module has a chalcogenide based photovoltaic diode structure having an intrinsic semiconductor layer of thickness comprised between 0.5 and 4 μm .

7. The solar panel according to claim 6, wherein the semiconducting chalcogenide belongs to the group of CuInTe_2 , CuInSe_2 , CuGaTe_2 , CuGaSe_2 and CdTe .

8. The solar panel according to claim 7, wherein said semiconducting chalcogenide has a direct band-gap of about 1.0 eV.

9. The solar panel according to claim 6, wherein said semiconducting layer of amorphous silicon has an indirect band-gap between 1.5 and 2 eV.

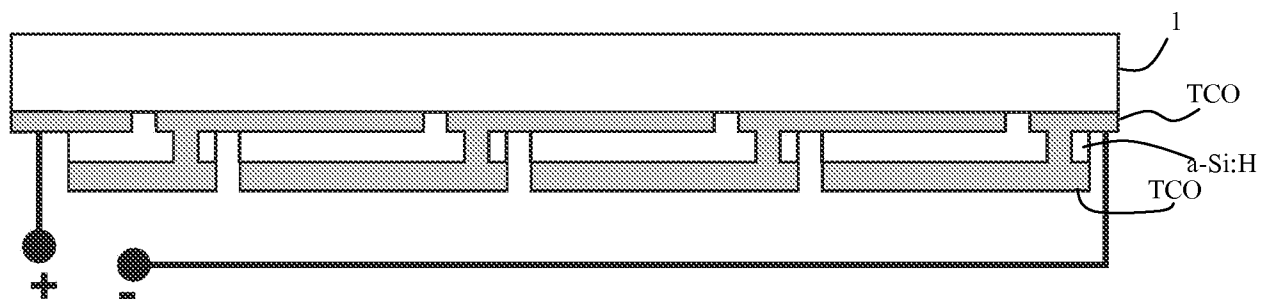


FIG. 1

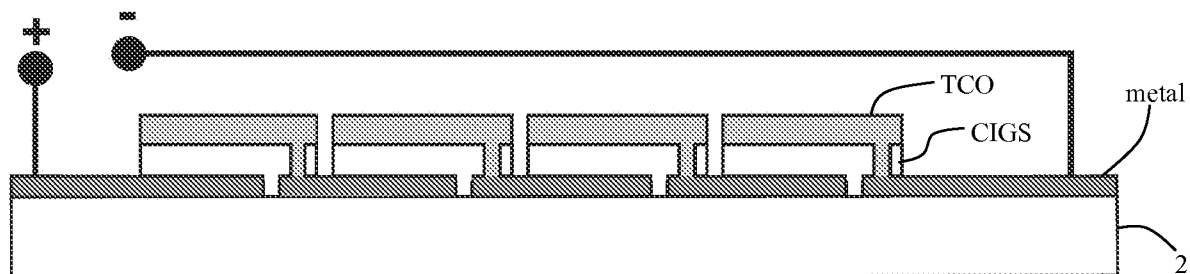


FIG. 2

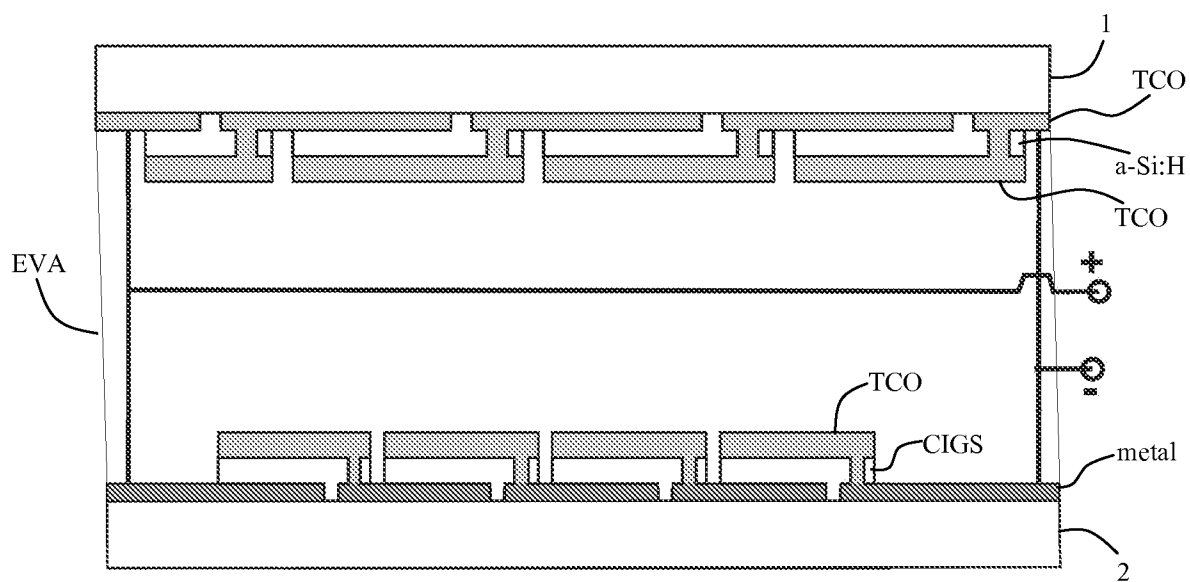
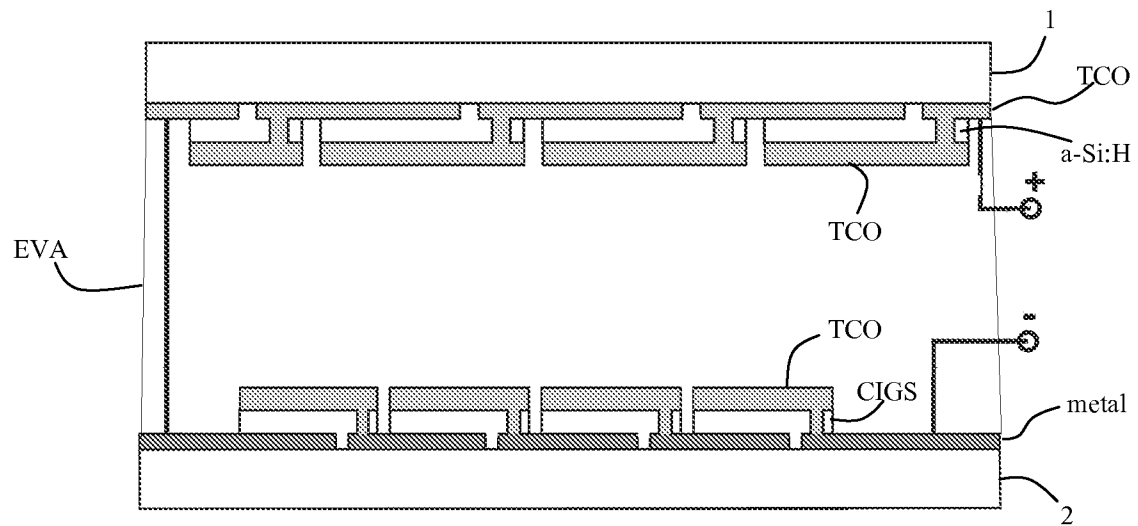
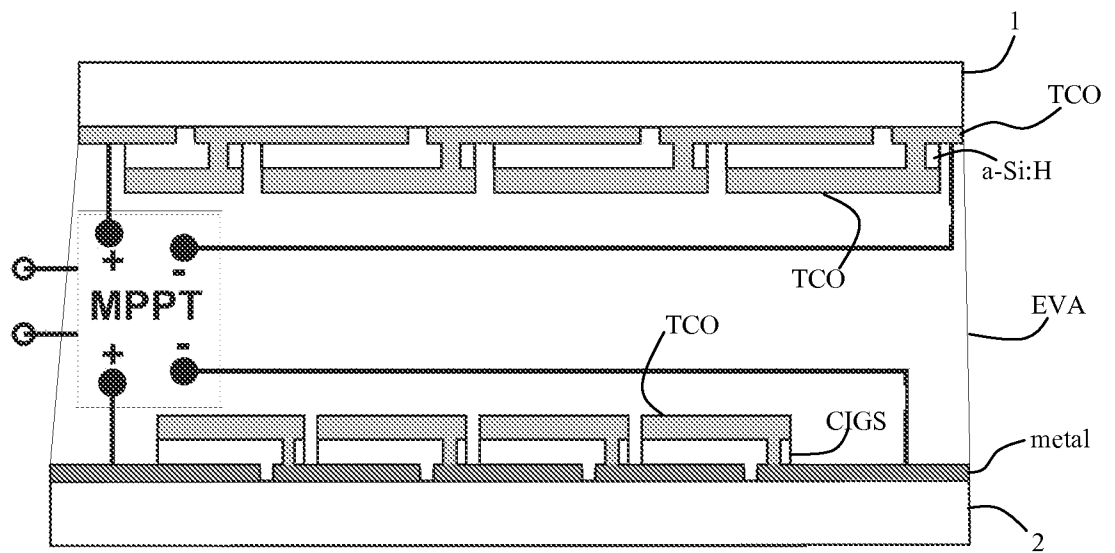
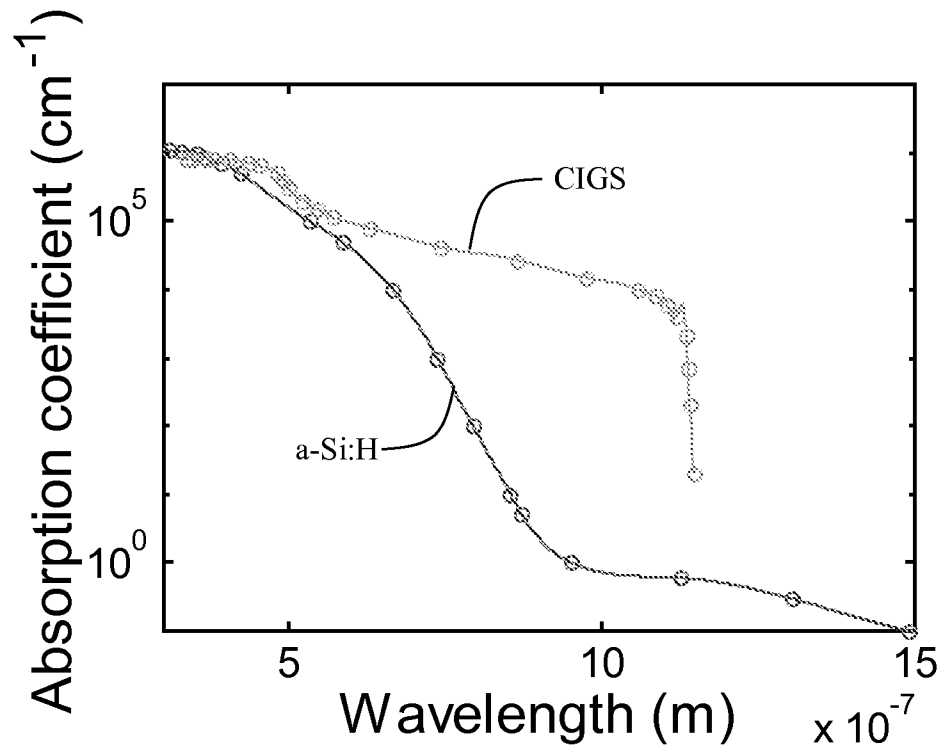
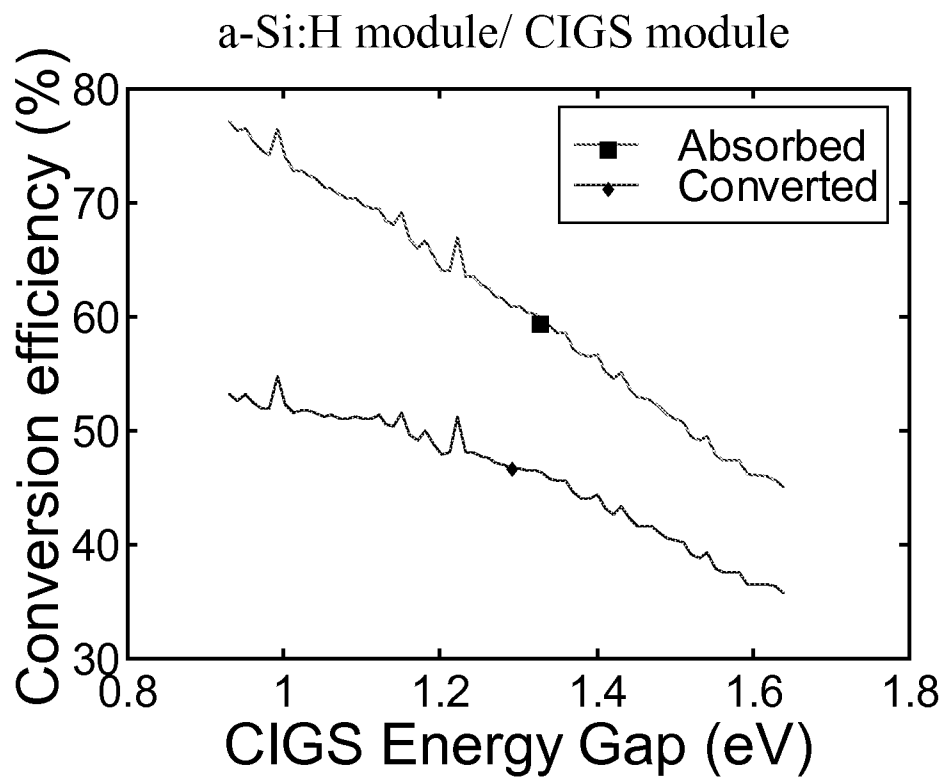
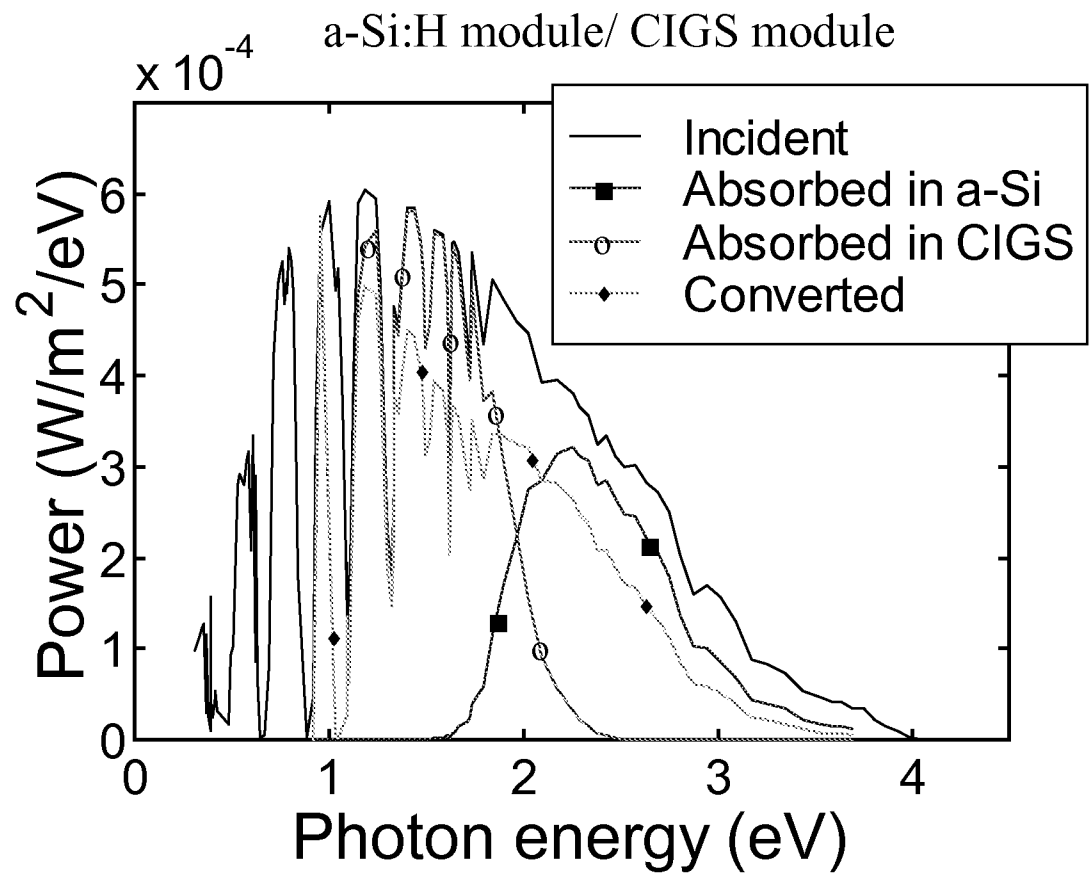


FIG. 3

**FIG. 4****FIG. 5**

**FIG. 6****FIG. 7**

**FIG. 8**