

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102008901658272A1

Publication Date

20100310

Applicant

DICHROIC CELL S.R.L.

Title

DISPOSITIVO FOTOVOLTAICO CON RICOPRIMENTO SUPERFICIALE  
DICROICO INTEGRATO

**“DISPOSITIVO FOTOVOLTAICO CON RICOPRIMENTO  
SUPERFICIALE DICROICO INTEGRATO”**

**Campo di applicazione**

La presente invenzione riguarda un dispositivo di conversione fotovoltaica, la cui  
5 superficie attiva è caratterizzata da un trattamento superficiale in grado di riflettere una prima porzione dello spettro della radiazione incidente e di promuovere l'assorbimento da parte del dispositivo di una seconda porzione dello spettro, disgiunta dalla prima, per la quale il dispositivo fotovoltaico presenta una elevata efficienza di conversione. La prima porzione dello spettro, riflessa da detto  
10 dispositivo di conversione fotovoltaica, viene inviata verso un secondo dispositivo di conversione fotovoltaica che presenta una elevata efficienza di conversione per detta prima porzione dello spettro.

**Problema tecnico**

I dispositivi fotovoltaici a semiconduttore fanno uso di materiali che presentano  
15 una densità di cariche disponibili per la conduzione estremamente ridotta, rispetto ai comuni conduttori metallici. Nei semiconduttori è possibile liberare cariche di conduzione tramite l'esposizione del materiale ad una radiazione luminosa con lunghezza d'onda sufficientemente corta. Se la lunghezza d'onda della radiazione incidente è superiore ad un determinato valore limite imposto dal “gap” proibito  
20 del materiale, l'esposizione del semiconduttore non genera alcuna carica di conduzione. I dispositivi fotovoltaici presentano una curva di efficienza di conversione dipendente dalla lunghezza d'onda. Come accennato, al di sopra della lunghezza d'onda corrispondente al “gap” proibito, l'efficienza di conversione è nulla. Al di sotto di tale valore limite il dispositivo converte la radiazione  
25 incidente in un flusso di cariche elettriche che vengono raccolte e separate dalla giunzione – generalmente posta in prossimità della superficie esposta della cella. L'efficienza di conversione di questo tipo di dispositivi generalmente diminuisce

man mano che si riduce la lunghezza d'onda della radiazione incidente. Questo comportamento è comune a tutti i dispositivi fotovoltaici a semiconduttore, anche se materiali semiconduttori diversi hanno un diverso "gap" energetico e conseguentemente una diversa differenza di potenziale ai capi della cella.

- 5 Per sfruttare in maniera più efficiente tutto lo spettro della radiazione incidente occorre utilizzare diversi materiali semiconduttori, ed un sistema di separazione spettrale che invii su ciascuno dei ricevitori fotovoltaici la porzione dello spettro per la quale essi presentano una elevata efficienza di conversione.

I sistemi fotovoltaici a separazione spettrale fino ad ora presentati, fanno uso di  
10 filtri dicroici – ovvero di substrati trasparenti ricoperti da multistrati in grado di riflettere una porzione dello spettro luminoso e di trasmettere la porzione sostanzialmente complementare. Detti filtri dicroici possono essere vantaggiosamente sfruttati nei sistemi fotovoltaici a concentrazione come descritto nei brevetti WO2006108806A3 e US2007137690A1.

- 15 La separazione spettrale può avvenire a livello del collettore primario come descritto nel brevetto WO2006108806A3, WO91/04580, e US6469241B1, oppure a valle del sistema di concentrazione, come descritto nel brevetto US2007137690A1. La separazione a valle del concentratore presenta il vantaggio che la superficie di materiale dicroico è ridotta in ragione del fattore di  
20 concentrazione. Il filtro dicroico è normalmente costituito da un supporto trasparente in vetro o mylar, su cui viene depositato per "sputtering" o evaporazione sotto vuoto una serie di sottili strati di materiale dielettrico che ha la proprietà di riflettere una porzione definita dello spettro e di trasmettere la porzione ad esso sostanzialmente complementare. Nonostante il multistrato dicroico abbia un assorbimento ottico molto ridotto, la porzione della radiazione incidente assorbita dal substrato su cui il filtro è realizzato è sufficiente a provocarne il surriscaldamento. Questo fenomeno è particolarmente presente nei  
25

sistemi solari a concentrazione con separazione spettrale a valle del concentratore.

Il raffreddamento del filtro dicroico che opera la separazione spettrale è estremamente difficoltoso in quanto esso è possibile solo sulla periferia del componente ottico o attraverso getti d'aria direzionali sul centro del filtro stesso.

- 5 E' anche facile comprendere come tali getti d'aria possano generare forti tensioni interne al supporto vetroso e causarne eventualmente la rottura.

Nei sistemi fotovoltaici a separazione spettrale sia il fascio trasmesso sia quello riflesso vengono successivamente inviati verso due ricevitori specifici per le relative bande di lunghezze d'onda, oppure separati ulteriormente ed inviati verso  
10 una pluralità di ricevitori fotovoltaici di caratteristiche spettrali differenti (realizzati, ad esempio, attraverso diverse combinazioni di materiali semiconduttori).

Ciascun dispositivo fotovoltaico è generalmente dotato di un ricoprimento antiriflesso avente lo scopo di minimizzare la riflessione della radiazione

15 incidente e promuoverne quindi l'assorbimento (e conseguentemente la conversione in cariche elettriche). Esattamente come i film dicroici, i ricopimenti antiriflesso sono realizzati generalmente per sputtering o evaporazione termica e

sono costituiti da uno o più strati dielettrici, lo spessore di questi ultimi è ottimizzato per minimizzare la riflessione ottica. Generalmente il ricoprimento

20 antiriflesso dei dispositivi fotovoltaici è progettato per promuovere l'assorbimento di una ampia porzione spettrale da parte del materiale attivo della cella. A causa di fenomeni intrinseci a ciascun materiale semiconduttore, la conversione fotovoltaica non può avere una efficienza indipendente dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente. In particolare, al di sopra di una lunghezza d'onda

25 massima (corrispondente al gap di energia proibito) nessuna radiazione luminosa, ancorché intensa, può generare cariche elettriche per effetto fotoelettrico. Al di sotto di questa lunghezza d'onda ha luogo la conversione fotovoltaica, ma

l'efficienza di conversione diminuisce man mano che decresce la lunghezza d'onda della radiazione incidente. E' così che ciascun dispositivo fotovoltaico presenta efficienza relativamente elevata solo in prossimità della lunghezza d'onda corrispondente al gap proibito.

- 5 I ricopimenti antiriflesso standard promuovono l'assorbimento della radiazione luminosa su un'ampia porzione dello spettro solare, indipendentemente dal fatto che al suo interno il dispositivo fotovoltaico non sia in grado di convertire efficacemente la radiazione con lunghezza d'onda superiore e molto inferiore a quella corrispondente al gap proibito.

10 **Background**

**U.S. 3,247,392** descrive un ricoprimento ottico realizzato attraverso una pluralità di strati disposti secondo la sequenza ABCBA, avente la proprietà di riflettere la componente spettrale infrarossa e ultravioletta, non convertita efficacemente dai dispositivi fotovoltaici al silicio. Nel presente brevetto si fa riferimento solo al  
15 vantaggio derivante dalla rimozione di componenti spettrali che contribuiscono nello scaldare il dispositivo, ma non viene fatta alcuna menzione alla separazione spettrale in più componenti, attuata al fine di inviare il fascio verso una pluralità di dispositivi fotovoltaici realizzati attraverso diversi materiali semiconduttori.

**US 4,293,732** descrive una cella solare al silicio affacciata e solidale ad un  
20 supporto trasparente (indicato genericamente come vetro) su cui sono stati realizzati uno o più ricopimenti ottici aventi la caratteristica di riflettere le lunghezze d'onda al di sotto di 350 nm. Questi ricopimenti ottici sono ottenuti attraverso una pluralità di film di  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , sovrapposti a formare una serie di strati con alternativamente alto e basso indice di rifrazione. Il vantaggio  
25 esposto in questo brevetto è la rimozione della componente spettrale che è responsabile di un accelerato degradamento delle resine incapsulanti utilizzate per vincolare il vetro alla cella solare e la conseguente rimozione della porzione di

lunghezze d'onda che contribuiscono ad aumentare la temperatura della cella.

**U.S. 5,449,413** descrive una cella solare comprensiva di substrato trasparente ad essa solidale ed affacciato alla superficie attiva del dispositivo caratterizzato da due ricoprimeti ottici in grado di riflettere la porzione infrarossa e ultravioletta della radiazione incidente. Il vantaggio di questa soluzione tecnica risiede nella capacità di ridurre il carico termico della regione attiva del dispositivo aumentando così l'efficienza di conversione della cella. Nella descrizione del brevetto si fa riferimento sia a celle in Silicio che a celle in arseniuro di gallio (GaAs). Al fine di adattarsi ad entrambe le tipologie di celle, il brevetto specifica che la lunghezza d'onda di taglio superiore e inferiore possono essere adattate semplicemente modificando lo spessore dei singoli film che costituiscono il ricoprimento ottico. Il ricoprimento ottico descritto è un multistrato preferibilmente realizzato attraverso una alternanza specificata dei seguenti materiali:  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ . Nessun riferimento viene fatto riguardo all'utilizzo della radiazione riflessa da parte di un altro dispositivo fotovoltaico sensibile alle regioni spettrali rigettata.

**U.S. 6,107,564** descrive una cella solare dotata di un ricoprimento superficiale in grado di riflettere le porzioni dello spettro che non vengono convertite efficacemente dalla cella. Nel brevetto vengono descritte diverse forme realizzative del ricoprimento ottico, ovvero di multistrati con indice di rifrazione alternativamente basso, alto e intermedio. L'indice di rifrazione intermedio è ottenuto, secondo la descrizione del brevetto, attraverso la deposizione simultanea dei due materiali a basso e alto indice di rifrazione. Nel brevetto non si fa alcun riferimento all'utilizzo della radiazione riflessa tramite ulteriori dispositivi fotovoltaici con risposta spettrale sostanzialmente complementare al primo.

### Soluzione del problema tecnico

L'oggetto di questa invenzione è un dispositivo fotovoltaico che incorpora sulla

sua superficie un film dicroico, ovvero un ricoprimento con la proprietà di riflettere una prima porzione dello spettro incidente e favorire l'assorbimento da parte del dispositivo di una seconda porzione di spettro, sostanzialmente complementare alla prima. Lo scopo di questa soluzione tecnica promuovere  
5 l'assorbimento da parte del ricevitore solo della porzione di spettro per la quale esso presenta la più elevata efficienza di conversione e, nel contempo, di riflettere la porzione dello spettro che verrebbe convertita in maniera meno efficace. La radiazione riflessa da detto primo dispositivo può essere successivamente raccolta da un secondo dispositivo fotovoltaico, che presenta una elevata efficienza di conversione nei confronti della porzione di spettro riflessa dal primo dispositivo.  
10

A differenza dei sistemi a separazione spettrale “post focus” (come descritto nel brevetto US2007137690A1), dove questa separazione avviene ad opera di un componente ottico aggiuntivo (tipicamente una lamina trasparente di vetro con un ricoprimento dicroico), in questa invenzione la separazione spettrale della radiazione incidente avviene ad opera del dispositivo fotovoltaico stesso, oggetto  
15 della presente invenzione. I vantaggi sono molteplici e in particolare possono essere individuati nella semplificazione strutturale del sistema ottico (che necessita di essere posizionato con estrema precisione), e nel fatto che la complessità del dispositivo di conversione è solo minimamente incrementata in quanto il semplice strato antiriflesso standard viene sostituito da un multistrato  
20 progettato in modo da esibire le proprietà di riflettività differenziata in funzione della lunghezza d'onda.

Il ricoprimento antiriflesso può essere realizzato preferibilmente, ma non esclusivamente attraverso, le tecniche di *sputtering reattivo* o *evaporazione termica*. Come noto al tecnico del campo, il ricoprimento antiriflesso è generalmente costituito da una sequenza di strati (“stack”) a diverso indice di rifrazione. Tipicamente lo “stack” è costituito da due materiali con indice di  
25

rifrazione rispettivamente alto (prossimo a 2) e basso (prossimo a 1.45) che si susseguono in una sequenza di tipo ABABAB, oppure nel caso vengano usati tre materiali, in sequenze più complesse tipi ABCBA o ABCCBA.

- Il ricoprimento anti-riflesso può essere ottimizzato per operare con radiazione che
- 5 incide a 45° rispetto alla normale alla superficie del primo dispositivo fotovoltaico. Questa soluzione permette di riflettere a 90° la radiazione non assorbita da detto primo dispositivo fotovoltaico, e di conseguenze di poter posizionare un secondo dispositivo fotovoltaico in maniera tale da assorbire e convertire efficacemente questa radiazione luminosa.
- 10 Come altro aspetto, l'invenzione riguarda un sistema fotovoltaico, preferibilmente a concentrazione, che utilizza uno o più dispositivi fotovoltaici dotati di ricoprimento dicroico integrato. Il sistema in oggetto è caratterizzato da una pluralità di ricevitori fotovoltaici, ciascuno dei quali è realizzato attraverso tecniche o materiali diversi e presenta una elevata efficienza di conversione
- 15 limitatamente ad una porzione dello spettro solare. La radiazione luminosa proveniente dal sole, ed eventualmente concentrata da un sistema ottico, viene inviata verso un primo dispositivo fotovoltaico con ricoprimento dicroico integrato. Detto primo dispositivo è posizionato e orientato in modo tale da riflettere la radiazione, per la quale esso non presenta una elevata efficienza di conversione, verso un secondo dispositivo fotovoltaico con elevata sensibilità nei confronti della radiazione riflessa da detto primo dispositivo. Questo secondo dispositivo fotovoltaico può essere di tipo tradizionale oppure può a suo volta essere caratterizzato da un ricoprimento dicroico integrato analogo a quello di detto primo dispositivo, ma operante su una porzione spettrale sostanzialmente complementare.

L'efficienza di un sistema fotovoltaico che incorpori l'oggetto di questo brevetto è potenzialmente molto superiore rispetto ad un sistema fotovoltaico convenzionale,

in quanto ciascuno dei dispositivo utilizzati si trova ad operare all'interno della regione spettrale per la quale esso presenta la più alta efficienza di conversione. La semplificazione del sistema in termine di numero di componenti è un ulteriore vantaggio che si traduce in un più semplice assemblaggio ed una ridotta necessità  
5 di tarature in fase di costruzione.

### **Descrizione dettagliata**

Questi ed altri vantaggi della presente invenzione verranno meglio compresi dalla seguente descrizione dettagliata di alcune sue forme di realizzazione, fatta con riferimento ai disegni allegati, forniti a puro titolo esemplificativo e non  
10 limitativo. Nei disegni:

- la FIG. 1 illustra schematicamente un sistema fotovoltaico a concentrazione, in cui la radiazione solare (3) viene concentrata da un sistema ottico (1). I raggi (4) riflessi da detto sistema ottico vengono fatti convergere verso un dispositivo fotovoltaico (2) o una matrice compatta di dispositivi fotovoltaici. In questa forma semplificata, il dispositivo di conversione fotovoltaica (2) deve presentare una  
15 efficienza di conversione accettabile sul più ampio intervallo di lunghezze d'onda, in quanto la radiazione che vi incide (4) si estende su tutto lo spettro solare, a meno delle perdite introdotte dal sistema ottico (1).

- la FIG. 2 illustra schematicamente un sistema fotovoltaico a concentrazione basato sulla separazione spettrale, in cui la radiazione solare (3) viene concentrata da un sistema ottico (1). I raggi (4) riflessi da detto sistema ottico vengono fatti convergere verso una regione nella quale è posizionato un filtro dicroico (7) che trasmette una porzione dello spettro (8) verso un dispositivo fotovoltaico (5) sensibile a detta regione spettrale. La porzione dello spettro (9) riflessa dal filtro dicroico (7) viene invece inviata verso un secondo ricevitore fotovoltaico che  
20 presenta una risposta spettrale ottimizzata per detta regione spettrale (9). In questa raffigurazione schematica il sistema di separazione spettrale è costituito da una  
25

lastra di materiale trasparente (7) ricoperta da un film con proprietà dicroiche. Tale filtro dicroico (7) è un componente ottico separato dai ricevitori fotovoltaici ed è talvolta integrato nel concentratore ottico stesso (1), come descritto nel brevetto WO2006108806A3.

- 5 - la FIG. 3 illustra un sistema ottico di separazione spettrale in cui la radiazione incidente, schematizzata dal raggio (15), viene separata in due componenti spettrali (12) e (13) ad opera di un filtro dicroico (14). La porzione spettrale (12) viene riflessa verso un dispositivo fotovoltaico (11) nel confronti della quale esso presenta una elevata efficienza di conversione. Analogamente, la porzione spettrale (13) trasmessa dal dicroico (14) viene inviata verso un dispositivo fotovoltaico (10) che presenta una elevata efficienza di conversione all'interno di detta porzione spettrale (13). Le porzioni spettrali (12) e (13) sono complementari tra di loro e la loro somma rappresenta lo spettro iniziale (15).
- 10 - la FIG. 4 illustra una possibile forma realizzativa del sistema ottico oggetto di questo brevetto. In questo caso, la radiazione incidente, schematizzata dal raggio (15), viene separata in due componenti spettrali ad opera del ricoprimento ottico superficiale (21) del dispositivo (20). Tale ricoprimento ottico (21) funge da strato antiriflesso per una prima porzione dello spettro nei confronti della quale il dispositivo (20) presenta una elevata efficienze di conversione, mentre riflette la 15 porzione di spettro sostanzialmente complementare (12) verso un secondo dispositivo fotovoltaico (11). La porzione di spettro trasmessa dal ricoprimento ottico (21) viene assorbita dal dispositivo (20) e convertita efficacemente in cariche elettriche. Il secondo dispositivo fotovoltaico (11) presenta una efficienza 20 di conversione estremamente elevata per la porzione di spettro (12), mentre ha una capacità ridotta di convertire la porzione di spettro sostanzialmente complementare a (12). Appare evidente la semplificazione rispetto alla FIG. 3. Ulteriore vantaggio è quello che si ha considerando che il ricoprimento ottico (21)

può essere ottenuto in fase di realizzazione della cella stessa con le tecniche note all'esperto del ramo, in luogo del ricoprimento antiriflesso a larga banda, normalmente utilizzato nei dispositivo convenzionali (2).

- la FIG. 5 mostra un'ulteriore possibile forma realizzativa di questo brevetto. In 5 questo caso, la radiazione incidente, schematizzata dal raggio (15), viene separata in due componenti spettrali ad opera del ricoprimento ottico superficiale (21) del dispositivo (20). Tale ricoprimento ottico (21) funge da strato antiriflesso per una prima porzione dello spettro nei confronti della quale il dispositivo (20) presenta una elevata efficienze di conversione, mentre riflette la porzione di spettro 10 sostanzialmente complementare (12) verso un secondo dispositivo fotovoltaico (22). Detto secondo dispositivo fotovoltaico (22) è dotato di un ricoprimento ottico dicroico (23) che promuove l'assorbimento della porzione spettrale nei confronti della quale detto dispositivo (22) presenta una elevata efficienza di conversione. La porzione (17) riflessa dal ricoprimento ottico superficiale (23) 15 viene inviata verso un terzo dispositivo fotovoltaico (11) spiccatamente sensibile per la regione spettrale (17). La porzione spettrale trasmessa dal ricoprimento ottico superficiale (23) viene assorbita dal dispositivo (22) e convertita efficacemente.

- la FIG. 6 illustra schematicamente le regioni di cui è composto un dispositivo 20 fotovoltaico convenzionale (2). Il dispositivo (2) è costituito da un substrato (30), tipicamente di Si, Ge, GaAs o altro materiale semiconduttore, e da un contatto metallico posteriore (31). La regione attiva del dispositivo è schematizzata con la regione (32) che tipicamente è affacciata alla sorgente luminosa. Viene definita 25 "superficie attiva" del dispositivo la superficie affacciata alla sorgente luminosa, reale o virtuale, nelle condizioni normali di utilizzo. La regione attiva (32) è a sua volta ricoperta da uno strato antiriflesso (33) che ha la funzione di minimizzare la radiazione luminosa riflessa dal dispositivo. Tale strato antiriflesso (33) ha

generalmente un comportamento analogo su un ampio intervallo di lunghezze d'onda. Sulla superficie frontale della cella fotovoltaica è generalmente presente una griglia di contatti (34) che permettono di raccogliere le cariche foto generate.

- la FIG. 7 illustra schematicamente le regioni di cui è composto il dispositivo fotovoltaico (20) oggetto di questo brevetto. Il dispositivo (20) è costituito da un substrato (30), un contatto metallico posteriore (31) e una regione attiva (32) analogamente ai dispositivi tradizionali (2). La regione attiva è ricoperta da una pluralità (35) di strati con diverso indice di rifrazione che esibiscono contemporaneamente una elevata riflettività nei confronti di una prima regione spettrale ed una elevata trasmittanza per una seconda regione spettrale, sostanzialmente complementare alla prima, nei confronti della quale il dispositivo esibisce una elevata efficienza di conversione. Analogamente ai dispositivi convenzionali, sulla superficie frontale è presente una griglia di contatti (34) atti a raccogliere le cariche foto generate.
- la FIG. 8 illustra schematicamente una ulteriore forma realizzativa del dispositivo descritto in FIG. 6. Questo dispositivo è caratterizzato da una pluralità (35) di strati con diverso indice di rifrazione che esibiscono una elevata riflettività nei confronti di una prima regione spettrale ed una elevata trasmittanza per una seconda regione spettrale, sostanzialmente complementare alla prima, nei confronti della quale il dispositivo presenta una elevata efficienza di conversione. Il dispositivo è inoltre caratterizzato dal fatto che, tra la regione attiva (32) e la pluralità (35) di strati con proprietà dicroiche, è interposto uno strato (36) otticamente uniforme e sostanzialmente trasparente. Tale strato (36) ha la funzione di passivare la superficie della regione attiva (32) e costituisce un substrato nei confronti del quale la pluralità (35) di strati presenta una elevata adesione.
- la FIG. 9 mostra il grafico degli spettri di assorbimento (40), di riflettanza (41) e

di trasmittanza (42) di un film di arseniuro di gallio (GaAs) dello spessore di 3 micrometri. Tale film può essere considerato la regione attiva (32) del dispositivo descritto in FIG. 6, FIG. 7 e FIG. 8.

- la FIG. 10 mostra il grafico degli spettri di assorbimento (43), di riflettanza (44) 5 e di trasmittanza (45) di un film di arseniuro di gallio (GaAs) dello spessore di 3 micrometri ricoperto da una pluralità di strati con diverso indice di rifrazione che il cui spessore e numero è stato ottimizzato per riflettere la porzione spettrale al di sopra della lunghezza d'onda di 900 nm, per la quale il film di arseniuro di gallio (GaAs) non presenta una elevata capacità di assorbimento (vedere grafico (40) 10 nella FIG. 9).

### **Forme realizzative**

La forma di realizzazione della FIG. 2 differisce da quella della FIG. 1 per la presenza di un elemento ottico con proprietà dicroiche (7) che separa la radiazione proveniente dal collettore principale (1) in due fasci (8) e (9) i quali sono diretti 15 verso i ricevitori fotovoltaici (5) e (6) sensibili rispettivamente alla banda spettrale del fascio (8) e (9).

Nelle FIG. 7 e 8, la pluralità (35) di strati con proprietà dicroiche costituisce il ricoprimento superficiale che opera la separazione spettrale della radiazione incidente. Le proprietà di questo ricoprimento superficiale possono essere 20 modificate variando lo spessore e il numero di strati che costituiscono detta pluralità di strati, aventi diverso indice di rifrazione.

La regione attiva (32) del dispositivo delle FIG. 6, 7, e 8 può essere costituita preferibilmente, ma non esclusivamente, di arseniuro di gallio (GaAs), di fosfuro di indio e gallio (InGaP) o di altro materiale semiconduttore. Al solo scopo di 25 mostrare una particolare forma realizzativa, nella FIG. 9 viene riportato un grafico con gli spettri di assorbimento (40), di riflettanza (41) e di trasmittanza (42) di un film di arseniuro di gallio (GaAs) dello spessore di 3 micrometri. Tale film può

essere considerato la regione attiva (32) del dispositivo descritto in FIG. 6, 7, e 8. Il substrato (30) di tale dispositivo può essere un wafer di germanio (Ge) o un wafer di silicio (Si) dotato di un ricoprimento epitassiale di germanio (Ge). Come è noto all'esperto del ramo, il GaAs presenta un coefficiente di assorbimento estremamente elevato per la radiazione con lunghezza d'onda al di sotto di 900 nm, mentre è sostanzialmente trasparente per la radiazione con lunghezza d'onda al di sopra di 900 nm. A causa dell'elevato indice di rifrazione del GaAs la percentuale di radiazione riflessa (41) è prossima al 40% su quasi tutto lo spettro.

La curva di assorbimento (40) e di riflettanza (41) mostrano esplicitamente questo comportamento. Nelle celle fotovoltaiche la superficie frontale viene solitamente ricoperta da un multistrato dielettrico (33) (FIG. 6) al fine di incrementare l'assorbimento della radiazione incidente da parte della regione attiva (32) del dispositivo. In FIG. 10 vengono mostrati gli spettri di assorbimento (43), di riflettanza (44) e di trasmittanza (45) di un film di GaAs ricoperto da una pluralità di strati con diverso indice di rifrazione, il cui spessore e numero è stato ottimizzato per riflettere la porzione spettrale al di sopra della lunghezza d'onda di 900 nm, e per aumentare l'assorbimento della radiazione al di sotto della lunghezza d'onda di 900 nm, da parte di detto film di GaAs. Nella tabella riportata di seguito viene indicato, a titolo puramente esplicativo, la sequenza e lo spessore degli strati che costituiscono il multistrato dicroico (35), le cui proprietà ottiche sono riportate in FIG. 10. I materiali dielettrici di cui è costituito detto multistrato dicroico sono preferibilmente, ma non esclusivamente, biossido di titanio ( $TiO_2$ ) e biossido di silicio ( $SiO_2$ ). Tali materiali dielettrici possono essere depositati attraverso la tecnica di *sputtering reattivo* o evaporazione termica o qualsiasi altra metodologia nota all'esperto del ramo.

Strato	Spessore (um)	Materiale	Strato	Spessore (um)	Materiale
1	53.830	TiO <sub>2</sub>	21	88.472	TiO <sub>2</sub>
2	43.862	SiO <sub>2</sub>	22	16.632	SiO <sub>2</sub>
3	26.781	TiO <sub>2</sub>	23	5.665	TiO <sub>2</sub>
4	30.014	SiO <sub>2</sub>	24	139.560	SiO <sub>2</sub>
5	136.820	TiO <sub>2</sub>	25	9.358	TiO <sub>2</sub>
6	9.390	SiO <sub>2</sub>	26	10.556	SiO <sub>2</sub>
7	139.254	TiO <sub>2</sub>	27	88.763	TiO <sub>2</sub>
8	28.306	SiO <sub>2</sub>	28	15.267	SiO <sub>2</sub>
9	29.571	TiO <sub>2</sub>	29	6.423	TiO <sub>2</sub>
10	31.751	SiO <sub>2</sub>	30	141.576	SiO <sub>2</sub>
11	126.073	TiO <sub>2</sub>	31	10.370	TiO <sub>2</sub>
12	43.993	SiO <sub>2</sub>	32	10.854	SiO <sub>2</sub>
13	19.585	TiO <sub>2</sub>	33	87.742	TiO <sub>2</sub>
14	47.519	SiO <sub>2</sub>	34	17.073	SiO <sub>2</sub>
15	112.717	TiO <sub>2</sub>	35	7.333	TiO <sub>2</sub>
16	40.088	SiO <sub>2</sub>	36	138.868	SiO <sub>2</sub>
17	4.207	TiO <sub>2</sub>	37	9.538	TiO <sub>2</sub>
18	111.230	SiO <sub>2</sub>	38	13.198	SiO <sub>2</sub>
19	10.824	TiO <sub>2</sub>	39	94.207	TiO <sub>2</sub>
20	11.090	SiO <sub>2</sub>	40	80.340	SiO <sub>2</sub>

Si può anche prevedere che i dispositivi fotovoltaici che compongono il nuovo sistema fotovoltaico del tipo a concentrazione siano disposti in modo che la separazione spettrale avvenga a livello del collettore primario oppure a valle del sistema di concentrazione.

## Rivendicazioni

1. Dispositivo fotovoltaico (20) comprendente almeno un substrato (30) con superfici o regione attiva (32), **caratterizzato dal fatto** di comprendere un ricoprimento dicroico (21), di detta regione attiva (32), detto ricoprimento dicroico (21) a sua volta comprendente una pluralità di strati (35) con diverso indice di rifrazione, in grado di riflettere una prima regione spettrale (12) della radiazione incidente (15) e di promuovere l'assorbimento da parte del dispositivo (20) di una seconda porzione dello spettro, disgiunta dalla prima (12) e ad essa sostanzialmente complementare, per la quale il dispositivo (20) presenta una elevata efficienza di conversione.  
10
2. Dispositivo fotovoltaico (20) come da rivendicazione 1 **caratterizzato dal fatto** che la pluralità di strati (35) è costituita da almeno due materiali, di diverso indice di rifrazione, alternati secondo la serie ABAB.
3. Dispositivo fotovoltaico (20) come da rivendicazione 1 **caratterizzato dal fatto** che la pluralità di strati (35) è costituita da biossido di titanio ( $TiO_2$ ) e da biossido di silicio ( $SiO_2$ ).  
15
4. Dispositivo fotovoltaico (20) come da rivendicazione 1 **caratterizzato dal fatto** che la pluralità di strati (35) è separata dalla regione attiva del dispositivo da uno o più film (36), essenzialmente trasparenti, aventi la funzione di passivare la regione (32) del dispositivo e/o promuovere l'adesione della pluralità di strati (35) su di esso.  
20
5. Dispositivo fotovoltaico (20) come da rivendicazione 1 **caratterizzato dal fatto** che detta regione attiva (32) è costituita da un film di arseniuro di gallio ( $GaAs$ ) o da un film di fosfuro di indio e gallio ( $InGaP$ ).  
25
6. Dispositivo fotovoltaico (20) come da rivendicazione 5 **caratterizzato dal fatto** che detto substrato (30) su cui è depositata detta regione attiva (32) è costituito da un wafer di germanio (Ge) o da un wafer di silicio (Si) la cui

superficie è ricoperta da un film sostanzialmente composto di germanio (Ge) o da un wafer di silicio (Si) la cui superficie è ricoperta da un film sostanzialmente composto di una soluzione solida di germanio (Ge) e silicio (Si).

7. Dispositivo fotovoltaico (20) come da rivendicazioni precedenti,  
5 **caratterizzato dal fatto** che detta pluralità di strati (35) è ottimizzata per operare con radiazioni incidenti a 45° rispetto alla normale la superficie di detto dispositivo fotovoltaico (20), per riflettere a 90° la radiazione (12) non assorbita da detto dispositivo fotovoltaico (20) verso un secondo dispositivo fotovoltaico (22).

10 8. Sistema ottico caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un dispositivo fotovoltaico (20) con ricoprimento dicroico (21) integrato come da una o più delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzato dal fatto** che detta prima regione spettrale (12) riflessa da detto dispositivo fotovoltaico (20) è inviata verso un secondo dispositivo fotovoltaico (22) che presenta una elevata efficienza di  
15 conversione per detta prima regione spettrale (12) stessa.

9. Sistema ottico, come da rivendicazione 8, **caratterizzato dal fatto** di comprendere almeno due di detti dispositivi fotovoltaici (20, 22) con ricoprimento dicroico integrato (21, 23), dove detta prima regione spettrale (12) incidente detto secondo dispositivo fotovoltaico viene in parte riflessa (17) dal relativo ricoprimento ottico superficiale (23) ed inviata verso un terzo dispositivo fotovoltaico (11) che presenta una elevata efficienza di conversione per detta regione spettrale incidente.  
20

10. Sistema ottico, come da rivendicazioni 8, 9, **caratterizzato dal fatto** di comprendere tre o più dispositivi fotovoltaici (20, 22, 11) con ricoprimento dicroico integrato come da una o più delle rivendicazioni precedenti, ciascuno dei quali è caratterizzato dall'avere una elevata efficienza di conversione su una distinta regione spettrale.  
25

11. Sistema fotovoltaico a concentrazione **caratterizzato dal fatto** di utilizzare un sistema ottico descritto nella rivendicazioni 8 o 9 o 10.
12. Sistema fotovoltaico a concentrazione, come da rivendicazione 11, **caratterizzato dal fatto** che detti dispositivi fotovoltaici (20, 22, 11) sono disposti in modo che la separazione spettrale avvenga a livello del collettore primario.  
5
13. Sistema fotovoltaico a concentrazione, come da rivendicazione 11, **caratterizzato dal fatto** che detti dispositivi fotovoltaici (20, 22, 11) sono disposti in modo che la separazione spettrale avvenga a valle del sistema di concentrazione.  
10

**CLAIMS**

1. Photovoltaic device (20) comprising at least one substrate (30) with an active surface or area (32), **characterized in that** it comprises a dichroic covering (21) for said active area (32), said dichroic covering (21) comprising in its turn a plurality of layers (35) with different refraction index, capable of reflecting a first spectrum area (12) of the incident radiation (15) and of promoting absorption by the device (20) of a second portion of the spectrum, separated from the first one (12) and substantially complementary to it, for which the device (20) presents high conversion efficiency.  
5
2. Photovoltaic device (20) according to claim 1, **characterized in that** the plurality of layers (35) is constituted by at least two materials, with different refraction index, alternated according to the ABAB sequence.
3. Photovoltaic device (20) according to claim 1, **characterized in that** the  
15 plurality of layers (35) is constituted by titanium dioxide ( $TiO_2$ ) and silicon dioxide ( $SiO_2$ ).
4. Photovoltaic device (20) according to claim 1, **characterized in that** the plurality of layers (35) is separated from the active area of the device by one or more substantially transparent films (36) having the function of  
20 passivating the area (32) of the device and/or of promoting adhesion of the plurality of layers (35) to it.
5. Photovoltaic device (20) according to claim 1, **characterized in that** said active area (32) is constituted by a film in gallium arsenide (GaAs) or a film in indium and gallium phosphide (InGaP).  
25
6. Photovoltaic device (20) according to claim 5, **characterized in that** said substrate (30) on which said active area (32) is deposited (32) is constituted by a germanium wafer (Ge) or a silicon wafer (Si) whose



surface is covered by a film substantially consisting of germanium (Ge) or a silicon wafer (Si) whose surface is covered by a film substantially consisting of a solid solution of germanium (Ge) and silicon (Si).

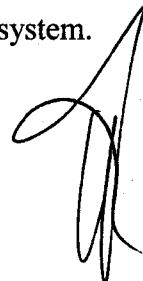
7. Photovoltaic device (20) according to the preceding claims, **characterized in that** said plurality of layers (35) is optimized to operate with incident radiations at an angle of 45° to the perpendicular to the surface of said photovoltaic device (20), in order to reflect at an angle of 90° the radiation (12) not absorbed by said photovoltaic device (20) towards a second photovoltaic device (22).  
5
8. Optical system comprising at least one photovoltaic device (20) with integrated dichroic covering (21) carried out according to one or more of the preceding claims, **characterized in that** said first area of the spectrum (12) reflected by said photovoltaic device (22) is conveyed towards a second photovoltaic device (22) with high conversion efficiency for said first area of the spectrum (12).  
10
9. Optical system according to claim 8, **characterized in that** it comprises at least two of said photovoltaic devices (20, 22) with integrated dichroic covering (21, 23), wherein said first area of the spectrum (12) incident on said second photovoltaic device is partially reflected (17) by the corresponding optical surface covering (23) and conveyed towards a third photovoltaic device (11) with high conversion efficiency for said first incident spectrum area.  
15
10. Optical system according to claims 8, 9, **characterized in that** it comprises three or more photovoltaic devices (20, 22, 11) with integrated dichroic covering carried out according to one or more of the preceding claims, each one of which has high conversion efficiency for a specific area of the spectrum.  
20  
25

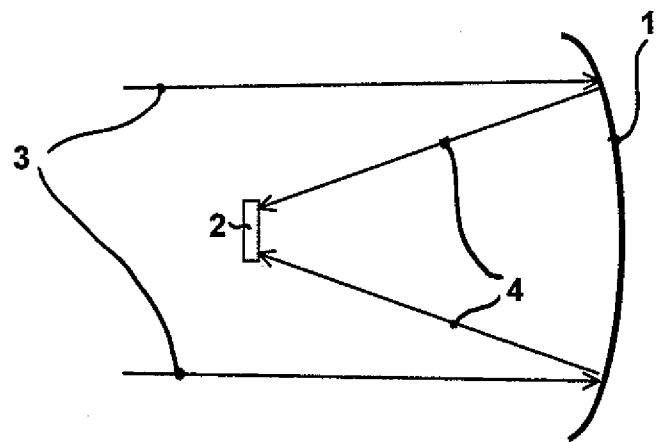


*[Handwritten signature over the stamp]*

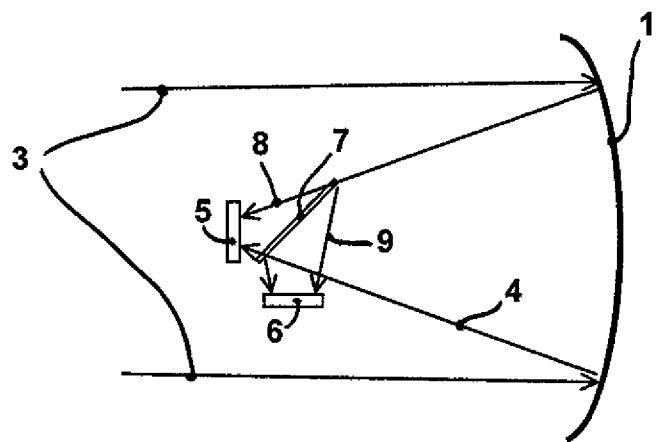
11. Photovoltaic concentration system, **characterized in that** it makes use of an optical system as described in claims 8 or 9 or 10.
12. Photovoltaic concentration system according to claim 11, **characterized in that** said photovoltaic devices (20, 22, 11) are arranged so that the spectrum separation takes place at the level of the primary collector.  
5
13. Photovoltaic concentration system according to claim 11, **characterized in that** said photovoltaic devices (20, 22, 11) are arranged so that the spectrum separation takes place downstream of the concentration system.

ing. MAURIZIO BENETTIN  
Albo dei Consulenti  
in Proprietà Industriale  
Nº 477

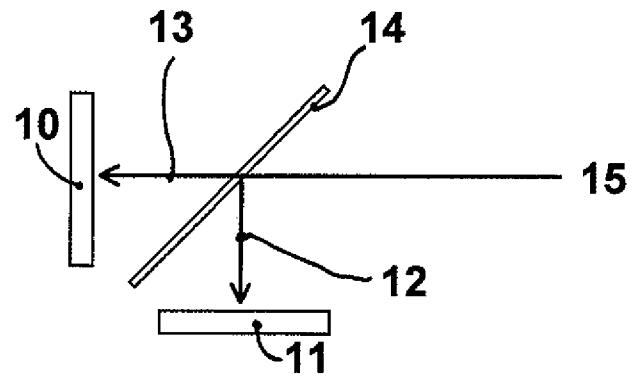




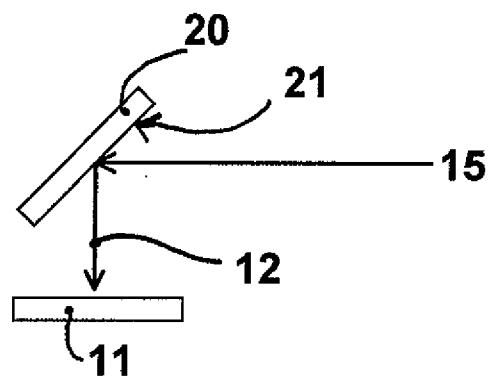
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

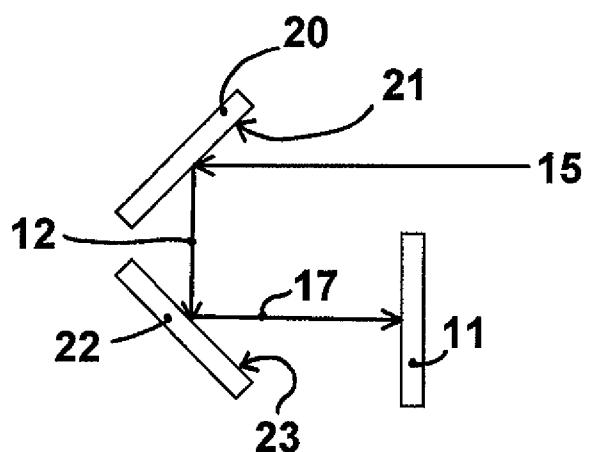


Fig. 5

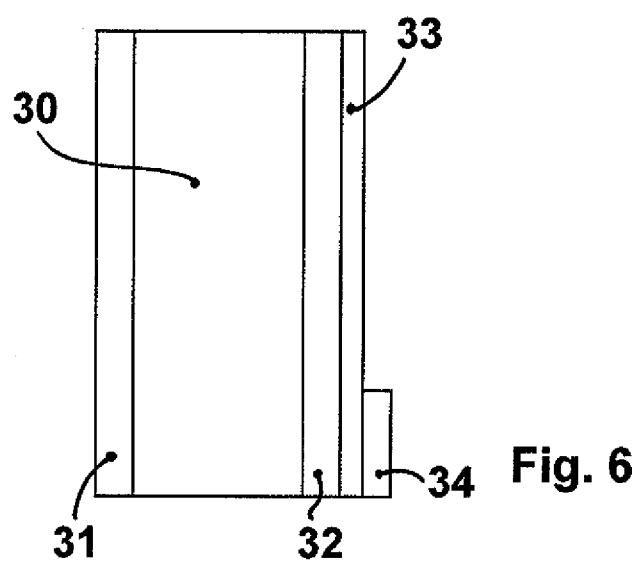


Fig. 6

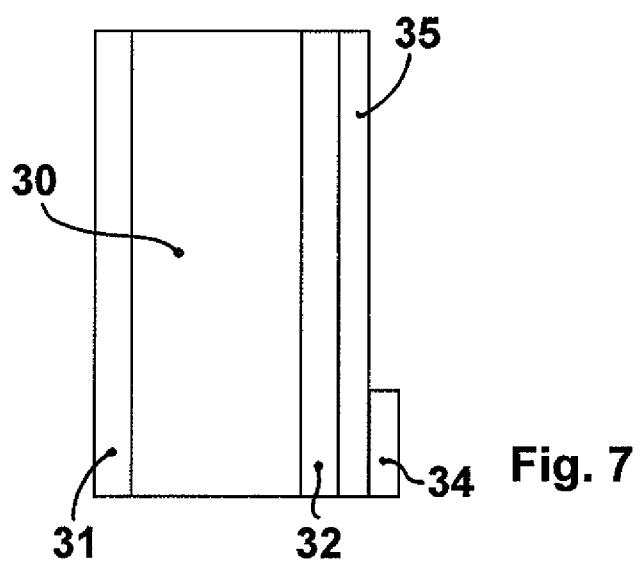


Fig. 7

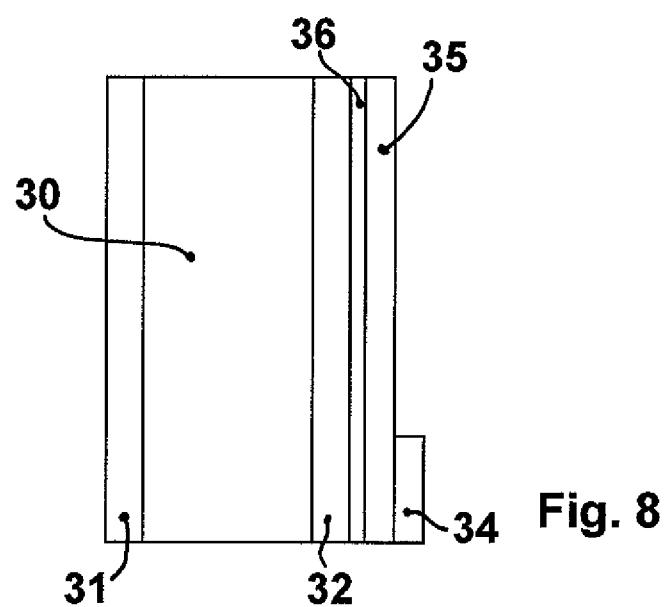
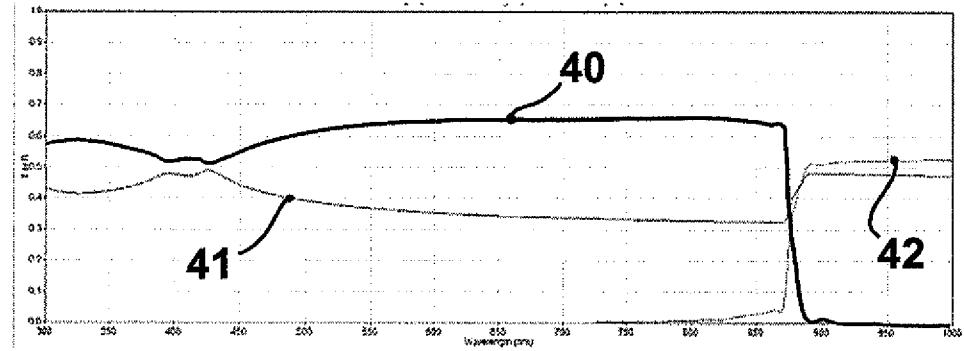
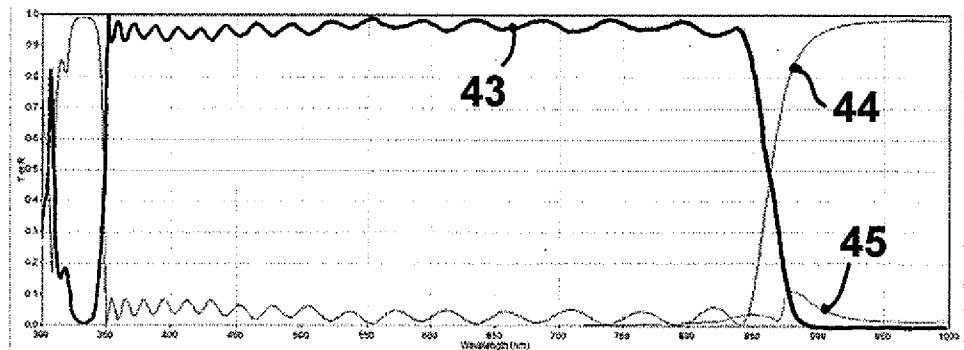


Fig. 8



**Fig. 9**



**Fig. 10**