TESINA PER L'ESAME DI STATO
A.S. 2010/2011

CONVERSIONE FOTOVOLTAICA

Di *Federica Pennarola*

CELLE SOLARI:

1. **AL SILICIO**
2. **GRÄETZEL: CELLE FOTOELETTROCHIMICHE (ORGANIZZAZIONE A MULTIGIUNZIONE)**

Il presente contributo, elaborato dalla **studentessa Federica PENNAROLA** del Liceo Scientifico Volterra di Ciampino (RM), è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo ***"Stage Invernale a Tor Vergata"*** - promosso dal MIUR (Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici e per l'autonomia scolastica) – e tenuto dal 7 all'11 Febbraio 2011 presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata.
Le attività didattiche previste dal Programma dello Stage sono state realizzate all'interno di tre gruppi di ricerca, guidati da docenti del Dipartimento di Fisica.

I responsabili delle attività laboratoriali del Modulo di Scienza dei Materiali la Conversione Fotovoltaica

Prof. Ivan Davoli .....

Prof. Massimiliano Lucci .....

Il Direttore dello *"Stage Invernale a Tor Vergata"*

Prof. Nicola Vittorio .....

Perchè le celle solari?

Si stima che il fabbisogno energetico del nostro pianeta raddoppierà entro 50 anni[1]. *Le fonti di energia attualmente più utilizzate sono* prevalentemente *non rinnovabili* (riserve di petrolio, gas naturale, carbone, uranio). I loro processi di combustione producono emissioni solide, liquide e gassose e con esse un *forte inquinamento ambientale* [2].

Per questi motivi il mondo scientifico ha posto attenzione nella ricerca e nello sviluppo delle celle solari. Esse hanno la capacità di *produrre energia elettrica in modo pulito*, usufruendo della quasi inesauribile radiazione proveniente dal Sole.
La nostra stella infatti ci irraggia con circa 1367 W per m^2 in media. Questa radiazione tuttavia, prima di arrivare sulla superificie terrestere, subisce varie dispersioni dovute a fenomeni di riflessione (da parte delle nuvole e del suolo) e di assorbimento da parte dell'atmosfera. Alla fine la potenza al suolo è di circa $1000w/m^2$ che è comunque circa 10,000 volte maggiore di quanto richieda il fabbisogno energetico del nostro attuale sistema di vita; tuttavia tale energia è poco concentrata.
Per poterne usufruire in modo significativo occorrerebbero tecnologie molto avanzate, ad elevata efficienza (rapporto fra potenza elettrica ottenuta e potenza della radiazione solare incidente) e bassi costi di produzione [1].

Quali sono dunque allo stato attuale le carenze delle celle solari?

Le celle fotovoltaiche più diffuse sul mercato sono quelle al Silicio monocristallino o policristallino. Esse, pur avendo un alto rendimento (~ 18% e 15%) rispetto agli altri tipi di celle in commercio, hanno un alto costo di produzione in proporzione alla potenza prodotta[3]. Una strada intrapresa per ridurre i costi del moduli fotovoltaici è quella di utilizzare film sottile di silicio amorfo o altri semiconduttori (tellurio di cadmio) ma al momento l'unica strada promettente per scendere sotto al dollaro/watt di costo sembra essere quella delle celle organiche.

Le odierne ricerche sperimentali sono dunque volte a massimizzare l'efficienza delle celle riducendone al contempo i costi di produzione.

In questo contesto di ricerca hanno assunto particolare rilevanza le celle fotoelettrochimiche organiche di tipo Grätzel.

Esse, pur avendo efficienze minori (~10-11%) rispetto alle celle solari inorganiche, presentano comunque caratteristiche vantaggiose:

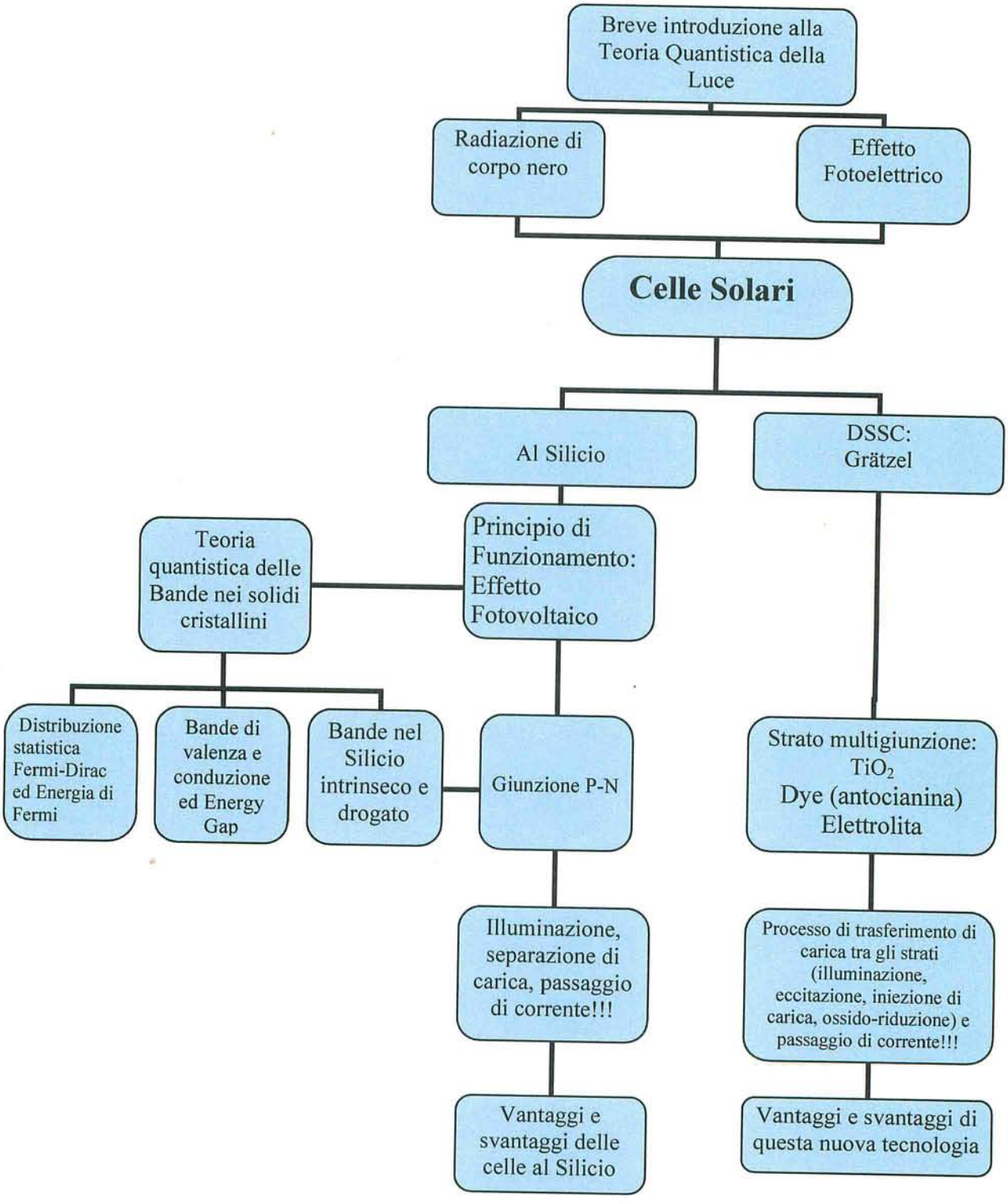
- Bassi costi di produzione
- Processi di realizzazione semplici
- Flessibilità meccanica che ne facilita l'integrazione su architetture e superfici curve
- Elevato coefficiente di assorbimento dei materiali usati

Proprio per questa loro importanza nel campo della ricerca sperimentale la facoltà di Scienze Matematiche Fisiche Naturali dell'Università di Roma Tor-Vergata, nell'anno 2010-2011, ha tenuto uno Stage Invernale di Scienze dei Materiali. Una delle sezioni dello Stage era dedicata alle celle solari miste organiche-inorganiche, ed'è a questa che ho avuto la possibilità di partecipare. Le lezioni teoriche e di laboratorio, tenute dai Professori Ivan Davoli e Massimiliano Lucci, hanno destato in me un forte interesse ad approfondire, fin dove le mie conoscenze lo hanno permesso, l'argomento che, insieme alla mia intenzione di proseguire gli

studi nel campo scientifico e più specificatamente nella Fisica, mi ha portata a presentare le celle solari come Tesina per l'Esame di Stato.
Per poter comprendere al meglio il funzionamento e le caratteristiche delle celle di tipo Grätzel si dovrà partire da un discorso riguardo alle celle inorganiche al Silicio.

Tuttavia la condizione necessaria per capire il principio di funzionamento delle celle solari è capire la natura quantistica della luce.

Il discorso verrà dunque strutturato come segue:



INDICE

Introduzione

1. Breve introduzione alla Teoria Quantistica della Luce

    1.1 Radiazione di Corpo Nero
    1.2 Effetto Fotoelettrico

2. Celle Solari al Silicio

    2.1 Principio di Funzionamento: Effetto Fotovoltaico

        2.1.1 Teoria Quantistica delle Bande nei Solidi Cristallini

            2.1.1.1 Distribuzione Statistica di Fermi –Dirac
                Bande di energia, Enegy-Gap ed Energia di Fermi
            2.1.1.2 Modello a Bande del Silicio intrinseco
            2.1.1.3 Modello a Bande del Silicio drogato di tipo N
            2.1.1.4 Modello a Bande del Silicio drogato di tipo P

    2.2 Giunzione P-N

    2.3 Illuminazione, separazione di carica, passaggio di corrente

    2.4 Vantaggi e svantaggi

3. Dye Sensitized Solar Cells: Grätzel

    3.1 Strato Multigiunzione

    3.2 Illuminazione, processo di trasferimento di carica, passaggio di corrente....

    3.4 Vantaggi e Svantaggi

4. Conclusioni

1. La Teoria Quantistica della Luce

A cavallo tra il XIX e il XX secolo il mondo fisico si trovava davanti a due problemi lasciati irrisolti dalla fisica classica: l'interpretazione dello *spettro di corpo nero* e *l'effetto fotoelettrico*.

Nel 1900 Max Planck diede un'interpretazione teorica al primo quesito; nel 1905 Einstein pubblicò "Su un punto di vista euristico a proposito della creazione e conversione della luce" (Ann. Physik **17**, 132) dove, abbandonando completamente la teoria classica della luce e conferendo significato fisico alle ipotesi di Planck, descrisse l'effetto fotoelettrico ponendo le basi per la Teoria Quantistica della Luce[10].

1.1 Radiazione di Corpo Nero

Il corpo nero viene definito come un corpo in grado di assorbire tutte le radiazioni elettromagnetiche che riceve e che, riscaldato, emette in tutte le frequenze assorbite. Per ogni sostanza, a temperatura costante, il corpo nero emette sempre la stessa quantità di radiazione per unità di superificie. Inoltre lo spettro di radiazione del corpo nero ha, per ogni T, una frequenza di picco caratteristica, che aumenta all'aumentare della frequenza al diminuire della lunghezza d'onda.

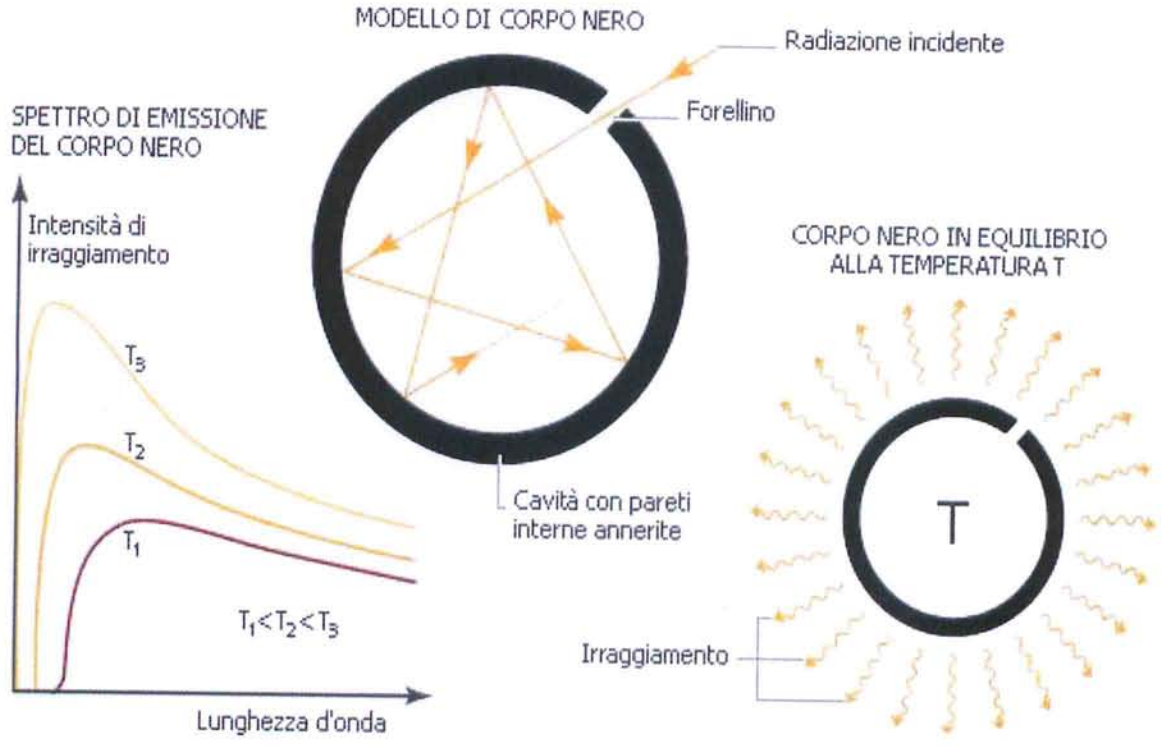


Fig. 1

Secondo l'interpretazione classica gli atomi del corpo nero dovrebbero accumulare in modo continuo nel tempo l'energia della radiazione incidente. Così facendo, secondo la legge di Rayleigh-Jeans, l'energia emessa dovrebbe crescere indefinitamente all'aumentare della frequenza (catastrofe ultravioletta). Si dovrebbe inoltre ammettere che il corpo nero sia in grado di accumulare ed emettere energia infinita.
Teoria in contrasto evidente con le osservazioni sperimentali.

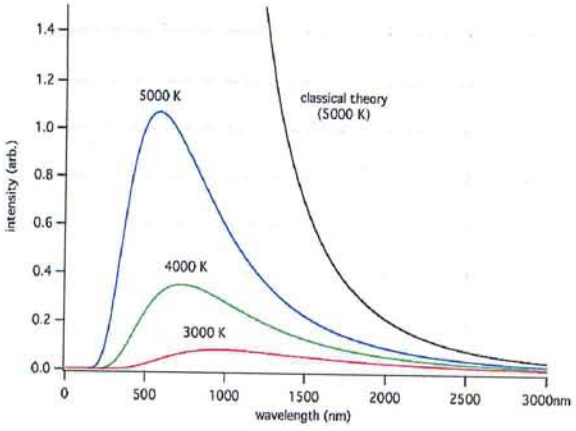


Fig. 2

Planck ipotizzò che gli atomi del corpo nero fossero come tanti oscillatori in grado di emettere e irraggiare energia non in modo continuo ma in "pacchetti" di energia discreti del valore di:

$$E = h\nu$$

Dove h è la costante di Planck pari a $6{,}63 * 10^{-34}$ Js

Il Sole, la cui temperatura superficiale si aggira intorno ai 6000 K, è un tipico esempio di corpo nero, che a tale tempoeratura brilla di luce propria[10].

1.2 Effetto Fotoelettrico

L'effetto fotoelettrico è quel fenomeno fisico per cui una superificie, generalmente metallica, emette elettroni se investita da una radiazione di sufficiente frequenza.

La prima prova sperimentale di tale fenomeno fu casualmente scoperta nel 1887 da Heinrich Hertz, che si accorse che illuminando con una radiazione ultravioletta una placca metallica di zinco essa si caricava negativamente. Lo stesso non accade con la luce visibile.

Nel 1902 Philip Lenard scoprì che l'emissione elettronica da un metallo avviene solo con una radiazione incidente al di sopra di una precisa frequenza, detta di soglia. Aumentando la frequenza gli elettroni acquisiscono energie e velocità sempre maggiori; aumentando l'intensità della radiazione incidente invece aumenta solamente in numero di elettroni emessi.

Einstein, abbandondando la teoria classica della luce (ondulatoria), spiegò l'effetto fotoelettrico teorizzando che:

1. La luce fosse composta da quanti (meglio conosciuti come fotoni) ossia "pacchetti di energia" discreti ognuno del valore di $h\nu$, dove ν è la frequenza (da cui la nota equazione di Planck-Einstein $E = h\nu$)
2. Ciascun elettrone dovesse spendere un certo lavoro caratteristico di estrazione ϕ per lasciare il metallo.
3. L'energia dei quanti venisse assorbita dagli elettroni sia per lasciare il metallo sia sotto forma di energia cinetica.

In questo modo l'energia cinetica massima acquisita da ogni elettrone avrebbe dovuto essere pari a:

$$h\nu - \phi.$$

Tra le conseguenze di queste teorizzazioni è da notare che la relazione fra l'energia cinetica e la frequenza della radiazione incidente è lineare e ha come pendenza h.

Si noti inoltre che, allorchè la frequenza della radiazione incidente raggiunge il valore minimo necessario a far accadere l'effetto fotoelettrico, l'emissione degli elettroni è istantanea.

Tali ipotesi vennero successivamente verificate sperimentalmente, confermando l'ipotesi Einstein.
L'effetto fotoelettrico è di fondamentale importanza per comprendere ciò che accade nelle celle solari, in quanto il principio di funzionamento di queste ultime, l'effetto fotovoltaico, è una sua sottocategoria.

2. Celle Solari al Silicio

Foto 1

2.1 Principio di funzionamento: Effetto Fotovoltaico

L'effetto fotovoltaico è il fenomeno fisico che si realizza quando l'energia quantizzata associata alla radiazione solare incidente sul materiale costituente la cella, in questo caso il Silicio, viene assorbita dagli elettroni presenti nella *banda di valenza* del materiale, che verranno così eccitati e separati nella regione di carica spaziale della cella, potendo in tal modo passare nella *banda di conduzione* e determinare una corrente ordinata di cariche. Tuttavia, affinchè ciò possa avvenire, l'energia del fotone dovrà essere maggiore o uguale all'*energy-gap* presente tra le bande.

I concetti di bande e di energy-gap atomici, oltre ad essere essenziali per la comprensione del funzionamento delle celle solari, rientrano nell'ambito a ben più ampio respiro della meccanica quantistica, volta a fornire un quadro concettuale tale da poter sviluppare una teoria completa sulla struttura atomica [5].

2.1.1. Teoria quantistica delle Bande nei solidi cristallini

La teoria delle bande si basa su una statistica quantistica che tiene conto del principio di esclusione di Pauli[6]. Questa statistica prende il nome di

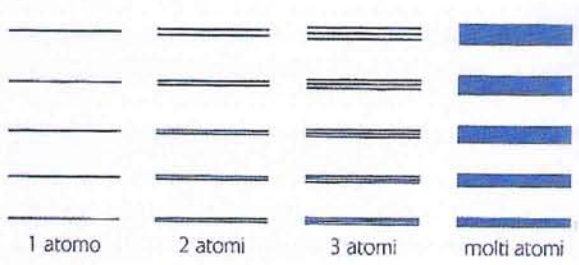
2.1.1.1 Statistica di Fermi-Dirac

La distribuzione statistica di Fermi-Dirac descrive la densità di probabilità di trovare un elettrone in una determinata regione dello spazio[5] quando gli atomi non sono più isolati ma molto vicini tra loro, come nella materia condensata. Questa statistica è valida per tutte le particelle con spin semi-intero, chiamate fermioni, come il protone, il neutrone e l'elettrone[6].

Secondo il principio di esclusione di Pauli due fermioni non possono occupare contemporaneamente lo stesso stato quantico; ad esempio sullo stesso livello energetico possono esserci due elettroni ma con spin semintero opposto. Se così non fosse gli elettroni negli atomi si disporrebbero tutti nello stato energetico fondamentale; sono invece "costretti" a occupare via via in coppie con spin opposto gli stati energetici disponibili[5].

Quando gli atomi sono posti a piccole distanze, come ad esempio nel caso del reticolo cristallino del Silicio, le disposizioni e le energie elettroniche in un atomo vengono modificate dagli atomi vicini.
In queste condizioni, secondo la distribuzione statistica di Fermi-Dirac, al posto di avere un unico stato per gli elettroni dello stesso livello, si andranno a formare tanti sottolivelli quanti sono gli elettroni appartenenti a quel livello originale, proprio perchè secondo il principio di Pauli i fermioni non possono occupare lo stesso stato quantico[6].

In un materiale solido il numero di elettroni è così grande che gli intervalli energetici sono così numerosi e poco separati da poter essere considerati come distribuiti con "continuità" e con una certa densità su un intervallo energetico esteso dal sottolivello più basso a quello più alto[5].



Ognuno di questi intervalli energetici costituisce una

Banda di Energia che si allarga all'aumentare del numero degli elettroni e delle interazioni[5].

Fig. 4

Tra le bande si vengono a formare degli intervalli di energia proibiti, che gli elettroni possono "saltare" tramite l'acquisizione di opportune quantità di energia, e a cui viene dato il nome di **Energy-Gap (E_g)**.

Definiamo inoltre **Energia di Fermi (E_F)** il livello energetico più alto occupato dagli elettroni alla temperatura di 0°K. Tutti gli stati inferiori dovranno quindi risultare occupati[7].

L'ultima banda piena viene chiamata **banda di valenza**; quella energeticamente superiore viene detta invece **banda di conduzione**[6].
Le proprietà elettriche dei materiali dipendono dalla misura in cui le bande sono riempite, da dove va a trovarsi il livello di Fermi e dalla grandezza del gap di energia fra banda di valenza e banda di conduzione[5].

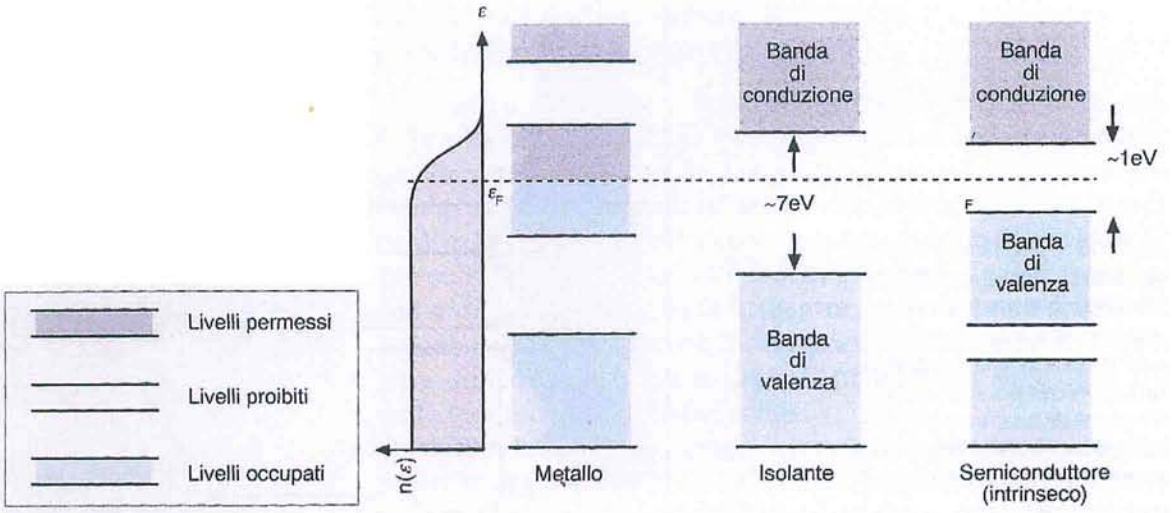


Fig. 5

Se una banda è riempita solo parzialmente l' E_F si troverà al suo interno; basterà pochissima agitazione termica a far passare gli elettroni al livello superiore vuoto, la banda di conduzione. Il solido sarà un conduttore[5]. Nei conduttori l'effetto fotovoltaico genererebbe solo un moto caotico di elettroni (aumento agitazione termica) e non una corrente elettrica.

Se una banda è completamente piena il livello di Fermi si troverà fra le due bande, all'interno del gap di energia.

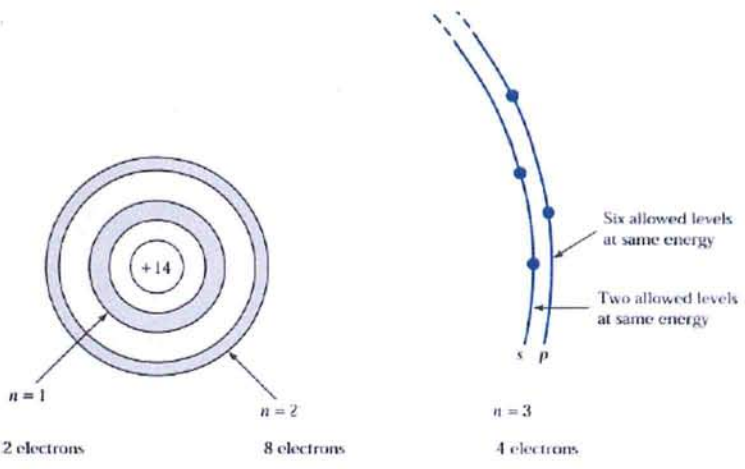
Se l' E_g è dell'ordine di circa 7 eV (o maggiore) il solido sarà un isolante[5]. Negli isolanti l'effetto fotovoltaico è pressocchè inattuabile poichè servirebbero radiazioni a frequenza troppo alta per far saltare agli elettroni un simile gap di energia.

Se invece l'E_g è dell'ordine di circa 1 eV il solido sarà un semiconduttore; in questo caso basterà eccitare sufficientemente gli elettroni per farli "saltare" in banda di conduzione[5]. Inoltre all'aumentare della temperatura aumenta la conducibilità elettrica di questi materiali.

I semiconduttori sono dunque i materiali che più si prestano all'effetto fotovoltaico, e sono quindi i più utilizzati nella costruzione di celle solari.

2.1.1.2 Modello a bande del Silicio intrinseco (puro)

Fig. 6



Il Silicio è un semiconduttore con un gap di energia di circa 1,1 eV. Il livello di Fermi è collocato nel mezzo del gap di energia[7].
In questo caso i portatori di carica saranno gli elettroni risultanti dall'eccitazione termica tra le bande[7].

Sono qui rappresentate in modo schematico le orbite elettroniche del Silicio (IV gruppo). I quattro elettroni esterni di valenza sono debolmente legati all'atomo ma non vengono liberati nel solido: sono messi in compartecipazione con atomi adiacenti tramite legami chimici covalenti, che tengono legati gli atomi del reticolo[5].

Nella figura 7 è rappresentato il modello a bande del reticolo cristallino del Silicio intrinseco. Il primo grafico da sinistra rappresenta la densità di stati permessi in un semiconduttore in funzione dell'energia. Il secondo grafico rappresenta la densità degli stati in funzione del vettore d'onda k (concetto quantistico non necessario ai fini di questa tesina). Il terzo la distribuzione statistica di Fermi-Dirac (densità di probabilità di trovare un elettrone in una determinata regione dello spazio in funzione dell'energia) per il Silicio e l'ultimo grafico rappresenta il prodotto fra funzione densità e funzione distribuzione, che ci permette di dare una previsione sulla densità di probabilità di poter trovare un elettrone negli stati permessi in funzione dell'energia[11].

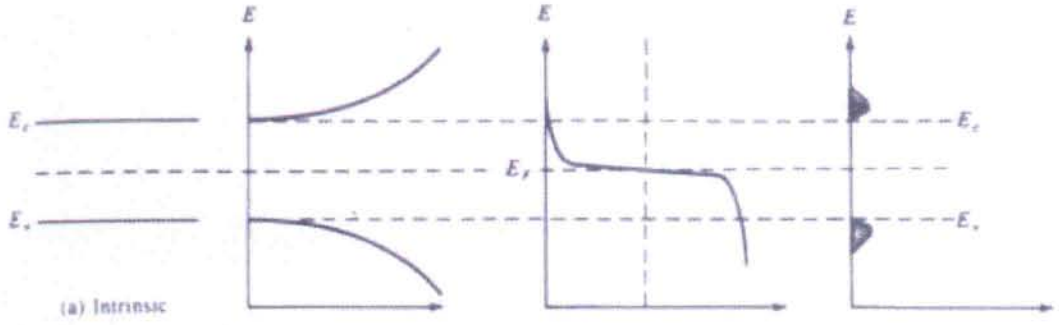
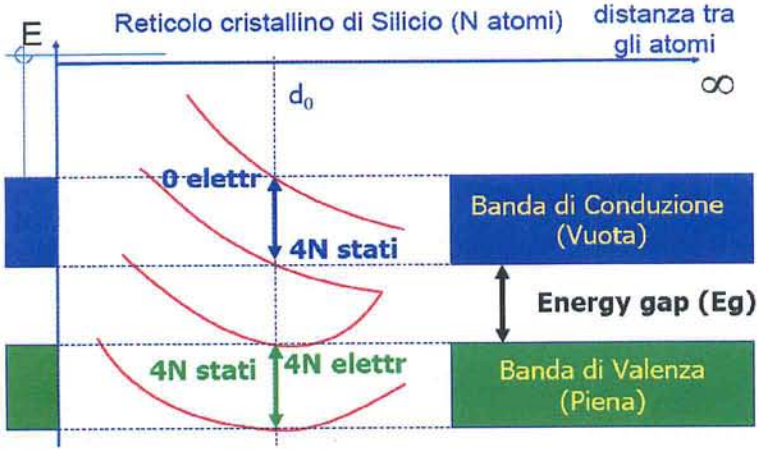


Fig. 7 Densità di stati permessi × Distribuzione di Fermi-Dirac = funzione prodotto



Come nei semiconduttori la banda di valenza del Silicio, in condizoni di equilibrio, sarà completamente piena, mentre quella di conduzione vuota.
Un fotone di energia parti all' E_g, incidendo su di un elettrone presente nella banda di valenza, permetterebbe a quest'ultimo di "saltare" in banda di conduzione "lasciando dietro di sè" una lacuna in banda di valenza.

Fig. 8

Tuttavia se le celle solari fossero costituite da Silicio intrinseco non si avrebbe il modo di separare le coppie elettrone-lacuna (che si ricombinerebbero ripristinando le condizioni iniziali) e conseguentemente non si potrebbe avere una corrente ordinata di cariche elettriche.

La separazione di carica all'interno delle celle solari si ottiene utilizzando il campo elettrico interno frutto di una giunzione fra due tipi diversi di semiconduttore: il Silicio drogato di tipo n e quello di tipo p. Vediamone dunque le caratteristiche.

2.1.1.3 Modello a bande del Silicio drogato

Il drogaggio si effettua immettendo all'interno del reticolo piccole percentuali di impurità, dell'ordine di un atomo su un miliardo o poco meno. Questo determina uno spostamento del livello di Fermi del reticolo e dunque una diversa configurazione del modello a bande[7].

Silicio drogato di tipo n

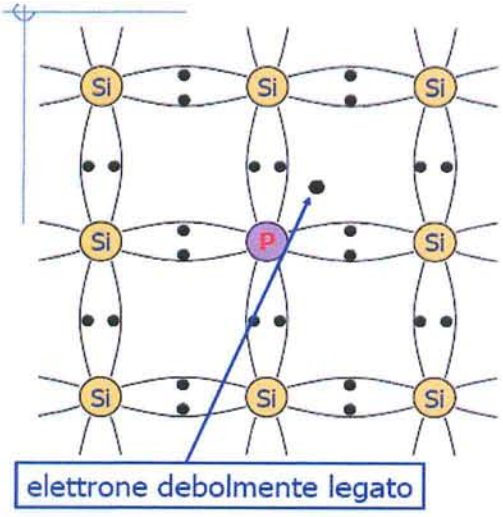


Fig. 9

Un elemento con cui il Silicio viene generalmente drogato è il Fosforo (P) del V gruppo. Questo elemento presenta 5 elettroni di valenza ma solo 4 di essi si legano con altrettanti atomi di Silicio; il quinto elettrone rimane così poco legato e basta poca agitazione termica a farlo muovere nel reticolo[6].
Avremo così un eccesso di elettroni debolmente legati, che saranno i portatori di carica maggioritari[7], e per questo motivo, pur rimandendo globalmente neutro, il reticolo del Silicio viene chiamato di tipo N, che sta a significare negativo.
In questa situazione il Fosforo, che in un certo senso "dona" elettroni al reticolo cristallino, e viene conseguentemente chiamato atomo donatore [5].

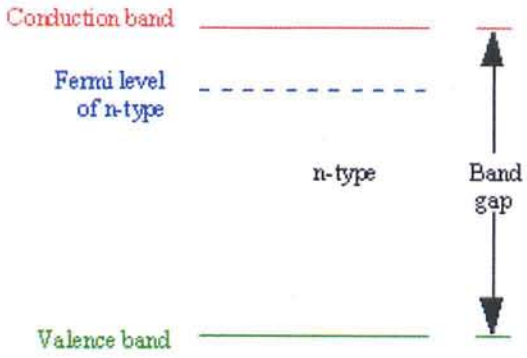
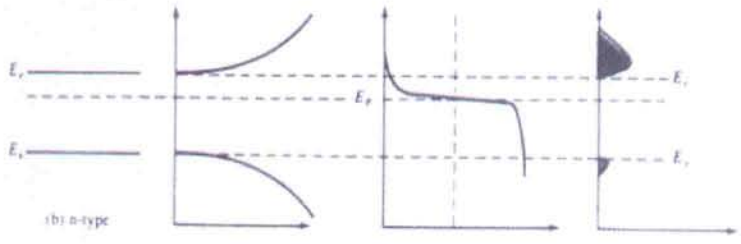


Fig. 10

L'Energia di Fermi del reticolo (figura 10) si sposta vicino al limite della banda di conduzione e sarà anche uguale, in condizioni di equilibrio, all'Energia di Fermi degli elettroni in eccesso, che si andranno a collocare appena al di sotto della banda di conduzione[7].



Come nel caso del Silicio intrinseco, anche per quello drogato di tipo N si può ripetere il discorso della densità di stati permessi, della distribuzione di Fermi e del grafico finale derivante dal loro prodotto.
Come si vede, ci sarà una maggiore densità di probabilità di trovare elettroni nei pressi del livello energetico della banda di conduzione[11].

Fig. 12 Densità di stati permessi × Distribuzione di Fermi-Dirac = funzione prodotto

2.1.1.4 Modello a bande del Silicio drogato di tipo p

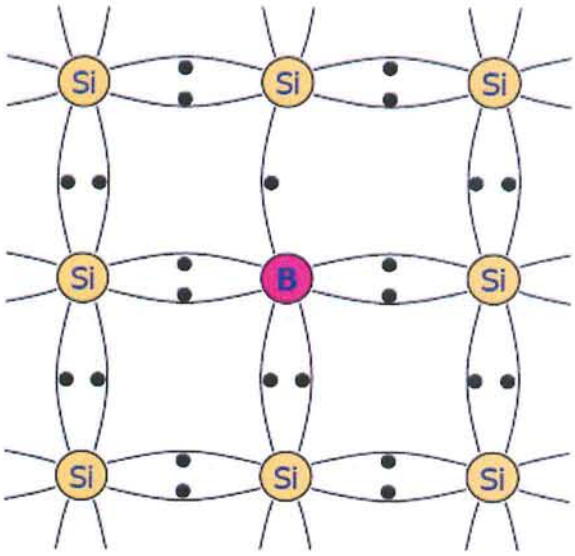


Fig. 13

Nel drogaggio di tipo p, che sta per positivo, il reticolo cristallino viene modicato introducendo atomi di Boro (B) del III gruppo. Questo elemento presenta 3 elettroni di valenza che vengono tutti messi in compartecipazione con altrettanti atomi di Silicio; il quarto elettrone necessario alla condivisione viene accettato da un atomo di Si del reticolo; si crea così in quest'ultimo una lacuna (assenza di elettrone) [6]. Avremo così un eccesso di lacune, che saranno i portatori di carica maggioritari[7], e per questo, pur rimanendo globalmente neutro, il reticolo cristallino così drogato viene appunto chiamato di tipo P. Il B, che "accetta" gli elettroni del Si, viene chiamato atomo accettore[5].

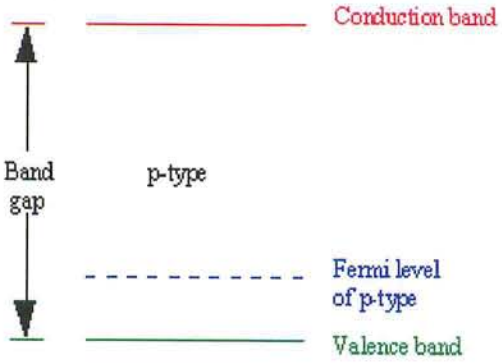
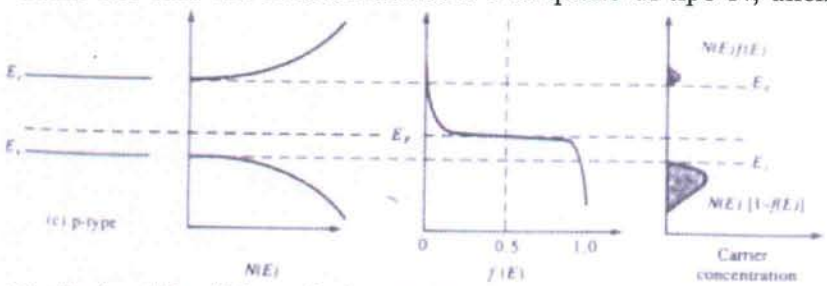


Fig. 14

L'Energia di Fermi del reticolo (figura 14) si sposta vicino al limite della banda di valenza e sarà anche uguale, in condizioni di equilibrio, all'Energia di Fermi delle lacune, che si andranno a collocare appena al di sopra della banda di valenza[7].

Come nel caso del Silicio intrinseco e di quello di tipo N, anche per quello drogato di tipo P si può ripetere il discorso della densità di stati permessi, della distribuzione di Fermi e del grafico finale derivante dal loro prodotto. Come si vede, ci sarà una maggiore probabilità di distribuzione di densità elettronica nei pressi della banda di valenza[11].



Distribuzione di Fermi-Dirac = funzione prodotto

Fig. 16 Densità di stati permessi ×

2.2 Giunzione P-N

Mettendo a contatto due semiconduttori, uno di tipo N e uno di tipo P, si verrà a formare in prossimità della superficie di contatto, detta giunzione, una zona chiamata di carica spaziale, dove sarà presente un campo elettrico che permetterà la separazione di carica.

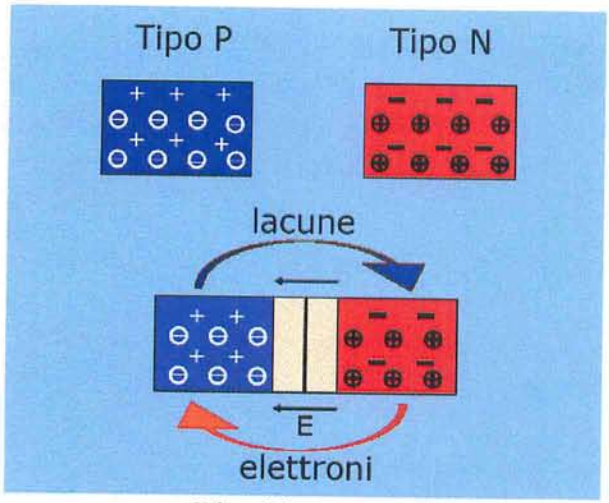


Fig. 17

Il

Infatti, quando si mettono a contatto i due semiconduttori, si instaura un processo di diffusione per cui gli elettroni di conduzione del semiconduttore di tipo N migrano verso quello di tipo P e le lacune del semiconduttore di tipo P migrano verso quello di tipo N. [6].

flusso si fermerà quando ci sarà un eccesso di carica negativa in P e di carica positiva in N tale da opporsi ad un ulteriore passaggio elettronico. Tale eccesso di carica è la causa del campo elettrico che si viene a formare nella zona di giunzione, di equazione:

$$E = -\frac{dV}{dx}$$

2. 3 E finalmente...

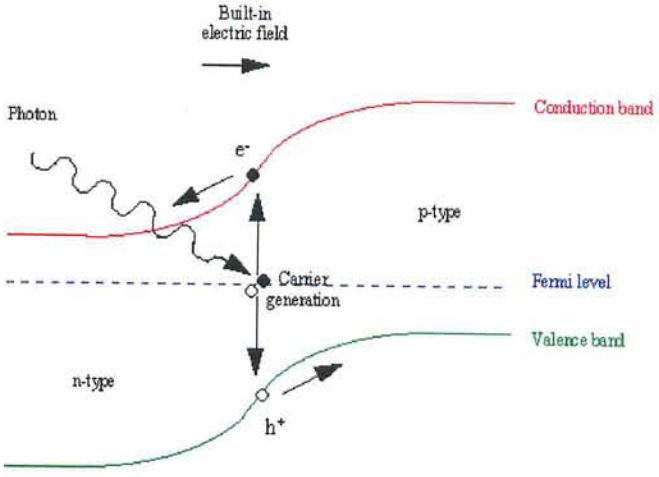


Fig. 18

In questo modo quando un fotone colpisce la regione di carica spaziale eccita una coppia elettone-lacuna che viene separata dal campo elettrico formatosi in prossimità della giunzione. Ci sarà così un flusso di elettroni in N e uno di lacune il P, realizzando l'effetto fotovoltaico.

Le celle solari al Silicio drogato sono proprio formate (ovviamente riferendoci ad un modello semplificato) da due strati, detti wafer, di silicio giustapposti, uno di tipo N ed uno di tipo P. La radiazione solare che colpisce la giunzione ha energia sufficiente a far "saltare" l'elettrone oltre l'Energy-Gap del Silicio drogato fino alla banda di conduzione[4]. Il campo elettrico formatosi nella zona di carica spaziale provvede a separare la coppia elettrone-lacuna evitando la ricombinazione; le cariche così formate possono dunque essere chiuse su di un circuito esterno sotto forma di corrente elettrica.

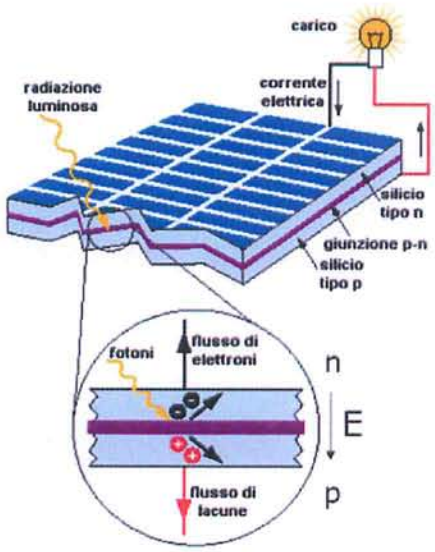


Fig. 19

2. 4 Vantaggi e Svantaggi

Come già detto, le celle fotovoltaiche al Silicio, pur avendo un alto rendimento (~ 18%) rispetto agli altri tipi di celle in commercio, hanno un alto costo di produzione in proporzione alla potenza prodotta [3].

Inoltre queste celle presentano difficoltà strutturali ad usufruire di tutto lo spettro solare[4]. Vediamo perchè.

L'energia trasmessa da un fotone a una certa lunghezza d'onda è pari a

$$E_\lambda = h\nu = hc/\lambda$$

Per liberare un elettrone l'energia del fotone deve essere maggiore o uguale all' E_g per cui

$$E_\lambda \geq E_g$$

$$hc/\lambda \geq E_g$$

$$\lambda \leq hc/E_g$$

Ne segue che la lunghezza d'onda massima utile alla conversione per il Silicio è di 1,1 μm. Questo valore corrisponde a circa il 25% dello spettro di emissione di radiazione solare[4].

3. Dye Sensitized Solar Cells di tipo Grätzel

Foto 2

Foto 3

Una delle alternative alle celle classiche è rappresentata dalle celle fotoelettrochimiche di tipo Grätzel. Esse presentano, al posto di due wafer di silicio, degli strati multigiunzione costituiti da materiale organico[1].

Questo tipo di celle fanno uso di speciali tinte organiche con basso energy-gap in grado di assorbire una larga porzione dello spettro solare.

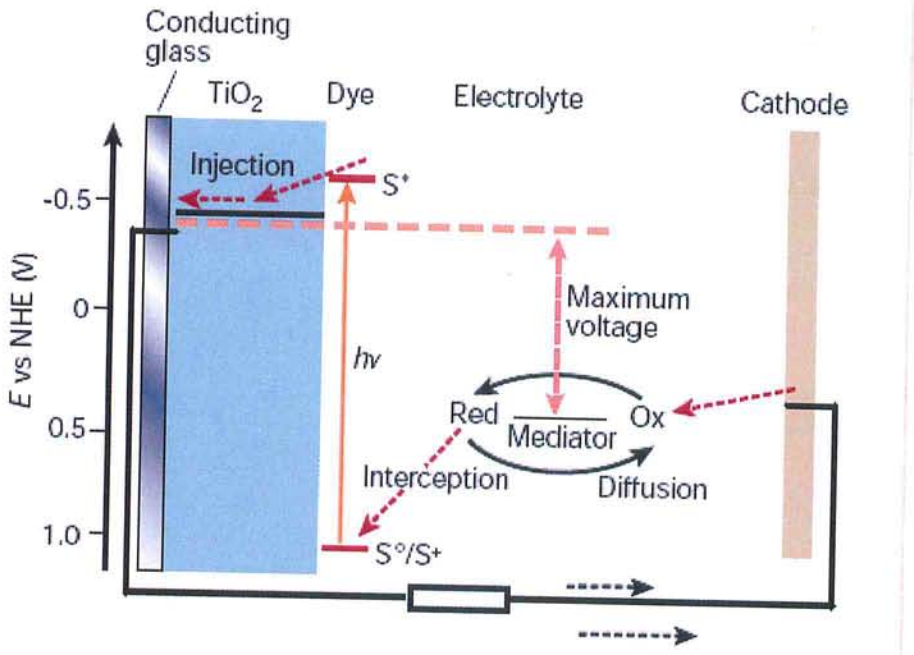


Fig. 20

3.1 Strato Multigiunzione

Prima di chiarire cosa succede quando un fotone colpisce la cella si dovrà fare una breve introduzione ai materiali utilizzati e alle loro caratteristiche.

Il primo strato a sinistra nella cella DSSC di figura 22 è uno strato poroso di nanoparticelle di biossido di Titanio (TiO_2) posto su un vetrino conduttivo che funge da anodo[8].

Il TiO_2 ha un gap di energia grande (circa 3,2 eV) e quindi, da solo, non sarebbe funzionale all'eccitazione elettronica; viene utilizzato invece per la sua struttura nanometrica e porosa che

generalmente fornisce alla cella un'area di assorbimento mille volte più ampia di quella di uno stratto "piatto" di materiale[1].

Sull'enorme area di TiO_2 viene depositato un sottile strato di antocianina, una tinta organica (in inglese dye) estratta dalle more, con basso energy-gap[8], circa1.3eV, il valore esatto si può estrarre dagli spettri di assorbimento e dipende dal tipo di dye e molto dalla purezza.

Tra il dye e il catodo viene immesso un elettrolita in cui sono presenti delle coppie redox che in inglese vengono chiamate "mediator" (mediatore)[8].

3.2 E poi arriva il fotone... Illuminazione, processo di trasferimento di carica, passaggio di corrente.

Il fotone incidente sulla cella per innescare la reazione deve avere un'energia almeno pari all' E_g dell'antocianina.
Le molecole del dye vengono infatti eccitate e possono innescare un processo di iniezione elettronica abbastanza rapido nella banda di conduzione del biossido di Titanio che viene così temporaneamente ridotto, mentre il dye, cedendo elettroni, si ossida[8].
Gli elettroni fotoattivati vengono trasportati dal TiO_2 ad un circuito esterno fino al controelettrodo metallico.
Intanto la coppia redox presente nell'elettrolita provvede a ridurre l'antocianina ossidata[1] ossidandosi a sua volta.
Gli elettroni intanto giunti al controelettrodo danno così luogo a una reazione di riduzione con l'elettrolita, ripristinando le condizioni iniziali[9].

In tale modo la composizione chimica dell'elettrolita non cambia, e il risultato complessivo del processo che si svolge nella cella è la produzione di tensione e di corrente elettrica, operando come una normale cella fotovoltaica[9].

Nelle DSSC ciò che permette la separazione di carica (con conseguenti limitate perdite di ricombinazione) ed il passaggio ordinato di portatori di carica (corrente elettrica) è la differente velocità dei vari processi[1].
Infatti l'iniziale eccitazione dell'antocianina e l'iniziezione di carica avvengono molto velocemente, mentre il trasferimento elettronico e le reazioni di ossido-riduzione sono molto più lente[8].

3.3 Vantaggi e Svantaggi

Le celle Grätzel hanno efficienze più basse (~10-11%)[3] rispetto a quelle al Silicio per vari processi di dispersione causati dalla tecnologia ancora poco sviluppata.

Tuttavia esse presentano, come già detto, caratteristiche promettenti:

- Bassi costi di produzione
- Processi di realizzazione semplici
- Flessibilità meccanica che ne facilita l'integrazione su architetture e superfici curve
- Elevato coefficiente di assorbimento dei materiali usati
- Tempi di vita (circa 20 anni) simili a quelle al Silicio; tempo nel quale il Dye sostiene circa 10^8 cicli di ossido-riduzioni[1].

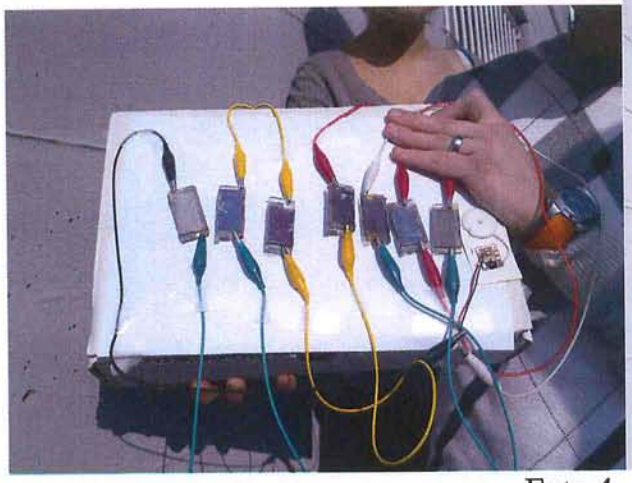


Foto 4

Foto 5

Durante lo Stage abbiamo avuto modo di costruire personalmente delle Celle Grätzel. A causa della limitata disponibilità di tempo in questa sede ho deciso di omettere il processo di realizzazione dalla trattazione della mia tesina, prediligendo la spiegazione teorica sul funzionamento delle celle.

4. Conclusioni

Data l'importanza, come già detto, del problema energetico mondiale, la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnlogie che sfruttino energie rinnovabili sono così divenute di particolare rilevanza.

Nell'ambito delle celle solari hanno avuto un buon progresso le celle organiche elettrochimiche di tipo Gratzel, ottenendo bassi costi di produzione grazie ai processi di costruzione relativamente semplici e al basso costo (ma vantaggiose proprietà) dei materiali utilizzati.

Le odierne ricerche sono volte a migliorare l'efficienza di queste celle per poterle rendere più competitive sul mercato come alternativa ai traidzionali metodi di produzione energetica.

Per questo, oltre che per il loro interessante meccanismo di funzionamento, ritengo sia importante essere a conoscenza di questa tecnologia.

Bibliografia

[1]. Nature- Volume 414 - Insight Review Articles- Photoelectrochemical cells- Micheal Gratzel- Macmillian Magazines Ltd- 15 November 2001.

[2]. Le fonti energetiche rinnovabili- a cura di Flavio Franco. Per il capitolo Fotovoltaico Francesco Pagliazzi- Casa editrice: ISES Italia-Stampa: Arti Grafiche S.Marcello (Rm)- Marzo 2001.

[3]. Tecnologia delle costruzioni elettroniche – Lotti Calcinaro La Sovrana Editrice

[4]. Tecnologia delle Energie Rinnovabili – Daniele Cocco, Chiara Palomba, Pierpaolo Puddu- SGE Editoriali Padorno- I Edizione 2008, II Edizione 2010.

[5]. Fisica e Realtà 3- Il mondo della fisica moderna- Angelo Baracca, Mira Fischetti, Riccardo Rigatti- Cappelli Editore- I Edizione 1999, VI Edizione 2004.

[6]. Dimensione Fisica 5- Luce, Fisica Moderna- Umberto Santoro Monteduro, Giuseppe Bagni, con la collaborazione di Emiliano Barbuto- G. D'Anna Casa Editrice Messina-Firenze- I Edizione 2009, II Edizione 2010.

[7]. Encyclopedia of Electrochemical Power Sources -MS 31-"Semiconductor Electrodes" - Sandro Cattarin and Franco Decker- Elsevier B.V- 2009.

[8]. Encyclopedia of Electrochemical Power Sources -MS 35-"Photoelctrochemical Cells" - Sandro Cattarin and Franco Decker- Elsevier B.V- 2009.

[9]. Giornale di chimica industriale ed applicata - L'industria chimica-Vol. 64- – p253-257- Franco Decker, Maristella Fracastoro-Decker- Sistemi elettrochimici per la conversione dell'energia solare- Editrice di Chimica Srl - organo ufficiale della Società Chimica Italiana- Aprile 1982.

[10]. Fisica 3 – Antonio Caforio, Aldo Ferilli- Felice Le Monnier, Firenze, I Edizione 2005, III ristampa 2009.

[11]. National Programme on Technology Enanched Learning
http://ddenptel.thapar.edu/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Semiconductor%20Devices/LMB2A/2b.htm

Figure

Fig. 1 Slide seminario invernale

Fig. 2 Slide seminario invernale

Fig. 3 Slide seminario invernale

Fig. 4 Dimensione Fisica 5- Luce, Fisica Moderna- Umberto Santoro Monteduro, Giuseppe Bagni, con la collaborazione di Emiliano Barbuto- Disegni di Giuseppe Maserati- G. D'Anna Casa Editrice Messina-Firenze, I Edizione 2009, II Edizione 2010

Fig. 5 Fisica e Realtà 3- Il mondo della fisica moderna- Angelo Baracca, Mira Fischetti, Riccardo Rigatti-Disegni di Pietro Ballardini, Samuell Calvisi, Andrea Cristofaro, Sergio Piergallini- Cappelli Editore. I Edizione 1999, VI Edizione 2004

Fig. 6 Slide seminario invernale

Fig .7 http:// ddenptel.thapar.edu/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Semiconductor%20Devices/LMB2A/2b.htm

Fig. 8 Slide seminario invernale

Fig. 9 Slide seminario invernale

Fig. 10 Slide seminario invernale

Fig. 11 Slide seminario invernale

Fig. 12 http:// ddenptel.thapar.edu/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Semiconductor%20Devices/LMB2A/2b.htm

Fig. 13 Slide seminario invernale

Fig. 14 Slide seminario invernale

Fig. 15 Slide seminario invernale

Fig. 16 12 http:// ddenptel.thapar.edu/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Semiconductor%20Devices/LMB2A/2b.htm

Fig. 17 Slide seminario invernale

Fig. 18 Slide seminario invernale

Fig. 19 Slide seminario invernale

Fig.20 Slide seminario invernale

Foto 1. http://www.ecologiae.com/invenzioni-solare-efficiente-meno-costoso/14896/

Foto 2. foto personale

Foto 3. http://casa.atuttonet.it/benessere-e-salute/more-proprieta.php

Foto 4. foto personale

Foto 5. foto personale