

OLED: Il diodo organico ad emissione di luce

Dalla scoperta dell'elettroluminescenza al primo
schermo curvo con una tecnologia OLED

Luigi Capogrosso

May 26, 2021

Università degli Studi di Verona, Dipartimento di informatica
Corso di Laurea in Computer Engineering for Robotics and Smart Industry

Indice i

1 Introduzione

- Storia

2 Struttura e Funzionamento

- OLED single layer
- OLED bilayer
- OLED multilayer
- Natura degli elettrodi: L'anodo
- Natura degli elettrodi: Il catodo
- Strati per il trasporto di lacune ed elettroni

3 Applicazioni ed Efficienza degli OLED

- Applicazioni commerciali
- Efficienza e prestazioni

Introduzione

OLED: Organic Light Emitting Diode

- Il diodo organico a emissione di luce (sigla **OLED**, dall'inglese **Organic Light Emitting Diode**) è la principale tecnologia utilizzata nella nuova generazione di display per computer, televisori e dispositivi tascabili;

OLED: Organic Light Emitting Diode

- Il diodo organico a emissione di luce (sigla **OLED**, dall'inglese **Organic Light Emitting Diode**) è la principale tecnologia utilizzata nella nuova generazione di display per computer, televisori e dispositivi tascabili;
- Il termine OLED è usato in modo generico per indicare tutte le tipologie di **LED** (*Light Emitting Diode*) costituite da **materiali organici**;

OLED: Organic Light Emitting Diode

- Il diodo organico a emissione di luce (sigla **OLED**, dall'inglese **Organic Light Emitting Diode**) è la principale tecnologia utilizzata nella nuova generazione di display per computer, televisori e dispositivi tascabili;
- Il termine OLED è usato in modo generico per indicare tutte le tipologie di **LED** (*Light Emitting Diode*) costituite da **materiali organici**;
- C'è stata, recentemente, un'enorme crescita di interesse verso questi dispositivi a causa delle loro possibilità di applicazione, ma, soprattutto, per il funzionamento fisico di strutture così particolari.

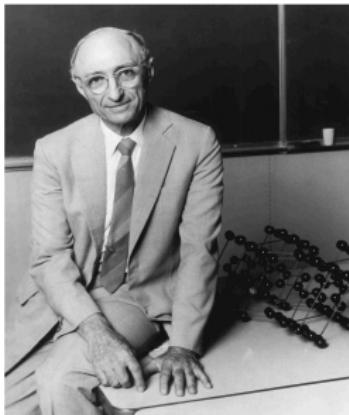


Figure 1: Martin Pope, Ching Wan Tang e Steven Van Slyke.

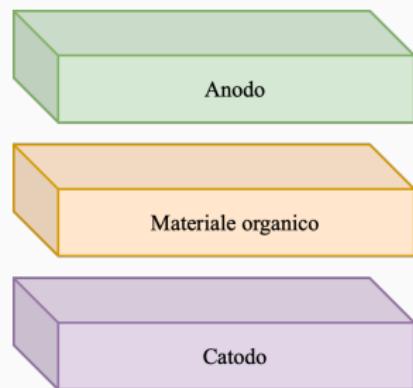
Storia (cont'd)

- 1907** H. J. Round scopre che i materiali inorganici possono illuminarsi quando vi si applica corrente elettrica;
- 1936** Destiau *et al.* osservano la generazione di luce da parte di polveri di solfuro di zinco, disperse in un mezzo isolante;
- 1950** L'azienda *General Electric* introduce sul mercato LED basati su semiconduttori inorganici;
- 1960** **Martin Pope** scopre l'EL nei semiconduttori organici;
- 1987** **Ching Wan Tang** e **Steven Van Slyke** ideano un dispositivo organico a basso voltaggio da cui si ottiene un'alta luminosità.

Struttura e Funzionamento

OLED single layer

Un tipico OLED **single layer** è formato da:



- Un **anodo** trasparente, di solito di ITO (*Indium Tin Oxide*);
- Uno **strato organico** per il trasporto di elettroni e lacune;
- Un **catodo** metallico, come ad esempio l'Alluminio;
- **Vetro trasparente** sfruttato per il deposito degli altri strati.

OLED single layer: Funzionamento

- Sotto l'azione di un certo voltaggio, le lacune sono iniettate dall'anodo verso l'HOMO dello strato organico adiacente;

OLED single layer: Funzionamento

- Sotto l'azione di un certo voltaggio, le lacune sono iniettate dall'anodo verso l'HOMO dello strato organico adiacente;
- Il catodo, invece, innietta gli elettroni verso il LUMO, sempre del materiale organico adiacente;

OLED single layer: Funzionamento

- Sotto l'azione di un certo voltaggio, le lacune sono iniettate dall'anodo verso l'HOMO dello strato organico adiacente;
- Il catodo, invece, innietta gli elettroni verso il LUMO, sempre del materiale organico adiacente;
- Gli elettroni e le lacune si muovono fino a ricombinarsi dando origine ad un “eccitone”, il quale ha la capacità di rilassarsi dallo stato eccitato verso lo stato fondamentale con l'emissione di luce.

OLED single layer: Svantaggi

La configurazione a singolo layer, per quanto sia semplice, presenta due svantaggi:

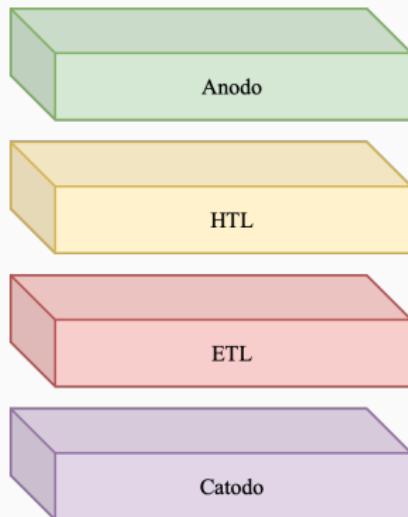
1. Essendo una configurazione costituita da un solo materiale, si hanno meno componenti su cui agire per **l'ottimizzazione del dispositivo**. Difatti, un solo materiale, difficilmente può essere allo stesso tempo un buon trasportatore sia elettroni che di lacune;

OLED single layer: Svantaggi

La configurazione a singolo layer, per quanto sia semplice, presenta due svantaggi:

1. Essendo una configurazione costituita da un solo materiale, si hanno meno componenti su cui agire per l'**ottimizzazione del dispositivo**. Difatti, un solo materiale, difficilmente può essere allo stesso tempo un buon trasportatore sia elettroni che di lacune;
2. Se la ricombinazione elettrone - lacuna avviene nelle vicinanze di uno degli elettrodi si va in contro al pericolo di “spegnimento” (*quenching*) dell'eccitone. Questo, significa che **può scorrere molta corrente senza produrre elettroluminescenza** e, di conseguenza, l'efficienza del dispositivo è molto ridotta.

OLED bilayer



Un tipico OLED **bilayer** è formato da:

- Un **anodo**, di solito di ITO;
- Uno strato trasportatore di lacune e non elettroni - **HTL**;
- Uno strato emettitore e trasportatore di elettroni - **ETL**;
- Un **catodo**, di solito di Magnesio ed Argento;
- **Vetro trasparente** sfruttato per il deposito degli altri strati.

OLED bilayer: Funzionamento

- Sotto l'azione di un certo voltaggio, l'anodo immette lacune nel dispositivo ed il catodo innietta elettroni;

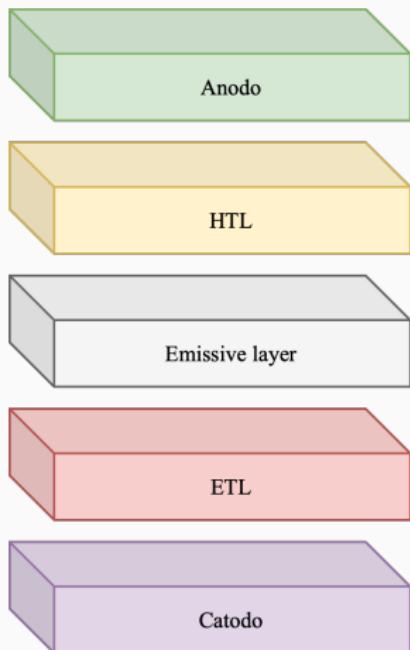
OLED bilayer: Funzionamento

- Sotto l'azione di un certo voltaggio, l'anodo immette lacune nel dispositivo ed il catodo innietta elettroni;
- Come nello schema single layer, la ricombinazione della coppia elettrone - lacuna (all'interno dello strato ETL) accompagna l'emissione di un fotone e quindi di luce.

OLED bilayer: Vantaggi

La configurazione bilayer risulta essere, però, estremamente migliore rispetto a quella single layer. Essa prevede la **separazione delle funzioni di iniezione** di carica, **trasporto** di carica ed **emissione** luminosa, solo così si sono ottenuti miglioramenti notevoli dei dispositivi OLED.

OLED multilayer



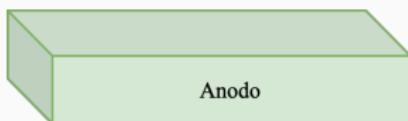
- Nella struttura **multilayer** lo strato luminescente non è più l'ETL, ma un terzo strato posto tra l'HTL e l'ETL.
- La funzione dello **strato emissivo** è esclusivamente quella di agire come sito per la ricombinazione delle coppie elettrone - lacuna.

OLED multilayer: Vantaggi e svantaggi

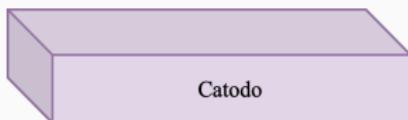
Il vantaggio di tale realizzazione è l'**ottimizzazione separata delle funzioni di trasporto**, di **carica** e di **emissione** di luce perché sono affidate a layer diversi. Ovviamente, tali migliorie, sono ottenute a discapito di una maggiore complessità realizzativa.

Natura degli elettrodi: L'anodo

- Il materiale più utilizzato come anodo è l'**Ossidio di Indio e Stagno (ITO)**;
- Di recente, sono stati sviluppati nuovi materiali con un'alta conduttività elettrica Ga-In-SnO (GITO), Zn-In-SnO (ZITO), Ga-InO (GIO) e Zn-InO (ZIO).

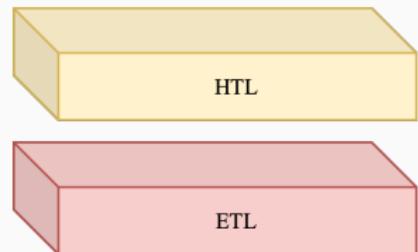


Natura degli elettrodi: Il catodo



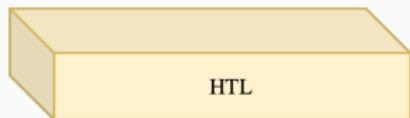
- Uno dei materiali più utilizzati come catodo è la lega **Mg:Ag**;
- Il Magnesio è un metallo che innietta facilmente elettroni nel materiale organico elettroluminescente;
- Mentre, l'incorporazione dell'Argento ritarda i processi di degradazione.

Strati per il trasporto di lacune ed elettroni



- Per ottenere OLED molto efficienti è necessario raggiungere un bilanciamento di carica;
- Dispositivi costituiti da strati HTL e ETL possono raggiungere un bilanciamento di carica molto più facilmente di un OLED costituito da un singolo strato emittente.

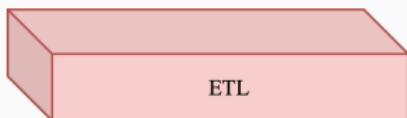
Strato HTL



Le proprietà richieste per tale strato sono:

- Facile formazione di lacune;
- Elevata efficienza nel trasporto di lacune dall'anodo allo strato luminescente;
- Capacità di confinamento degli elettroni nello strato luminescente.

Strato ETL



Le proprietà richieste per tale strato sono, invece:

- Facilità nell'iniezione di elettroni ed elevata efficienza nel loro trasporto dal catodo allo strato luminescente;
- Capacità di confinamento delle lacune nello strato luminescente.

Applicazioni ed Efficienza degli OLED

Applicazioni commerciali

Attualmente, gli OLED, sono impiegati in una variegata ed ampia gamma di applicazioni commerciali come, ad esempio:

- Televisori e display;

Applicazioni commerciali

Attualmente, gli OLED, sono impiegati in una variegata ed ampia gamma di applicazioni commerciali come, ad esempio:

- Televisori e display;
- Smartphone;

Applicazioni commerciali

Attualmente, gli OLED, sono impiegati in una variegata ed ampia gamma di applicazioni commerciali come, ad esempio:

- Televisori e display;
- Smartphone;
- Lettori multimediali;

Applicazioni commerciali

Attualmente, gli OLED, sono impiegati in una variegata ed ampia gamma di applicazioni commerciali come, ad esempio:

- Televisori e display;
- Smartphone;
- Lettori multimediali;
- Computer portatili;

Applicazioni commerciali

Attualmente, gli OLED, sono impiegati in una variegata ed ampia gamma di applicazioni commerciali come, ad esempio:

- Televisori e display;
- Smartphone;
- Lettori multimediali;
- Computer portatili;
- Fotocamere;

Applicazioni commerciali

Attualmente, gli OLED, sono impiegati in una variegata ed ampia gamma di applicazioni commerciali come, ad esempio:

- Televisori e display;
- Smartphone;
- Lettori multimediali;
- Computer portatili;
- Fotocamere;
- ...

Applicazioni commerciali (cont'd)

L'impiego degli OLED nei dispositivi portatili sta diventando sempre più vasto data l'ottima leggibilità (anche in condizioni di forte luce esterna) e una buona durata delle batterie, grazie allo scarso consumo di potenza.



Figure 2: Samsung Blade Bezel: Laptop OLED 1mm Display

Efficienza e prestazioni

Negli ultimi anni vi è stato un incremento enorme nelle prestazioni degli OLED in confronto ai tipici display LED. La tecnologia OLED è considerata una delle tecnologie più promettenti, soprattutto per la sua flessibilità.

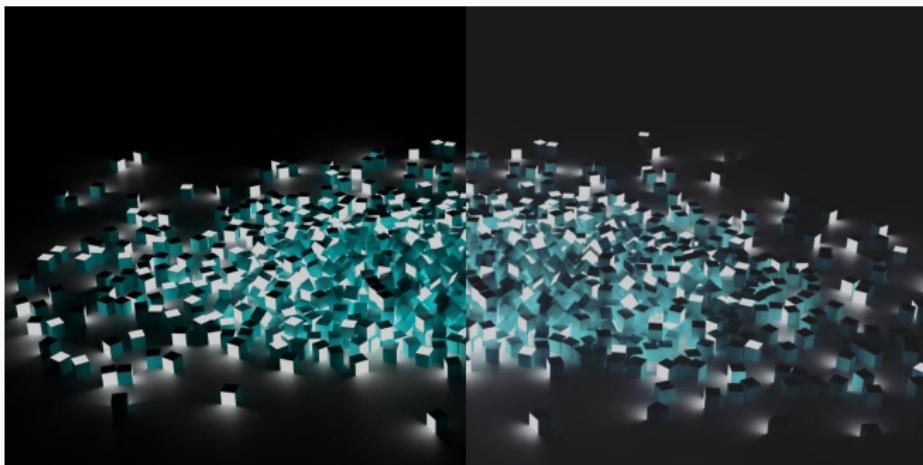


Figure 3: OLED vs LED

Efficienza e prestazioni (cont'd)

- Gli OLED consentono una **più ampia gamma di colori, luminosità e angolo di visione** rispetto ai LED, facendo sì che i colori dei pixel appaiano corretti e fissi;

Efficienza e prestazioni (cont'd)

- Gli OLED consentono una **più ampia gamma di colori, luminosità e angolo di visione** rispetto ai LED, facendo sì che i colori dei pixel appaiano corretti e fissi;
- Gli OLED hanno, inoltre, un **tempo di risposta più veloce** degli schermi standard LED;

Efficienza e prestazioni (cont'd)

- Gli OLED consentono una **più ampia gamma di colori, luminosità e angolo di visione** rispetto ai LED, facendo sì che i colori dei pixel appaiano corretti e fissi;
- Gli OLED hanno, inoltre, un **tempo di risposta più veloce** degli schermi standard LED;
- Altro fattore determinante è lo **spessore dello schermo**, che in alcuni casi raggiunge i tre millimetri, anche se, sono stati anche già realizzati prototipi di display flessibili.

Efficienza e prestazioni (cont'd)

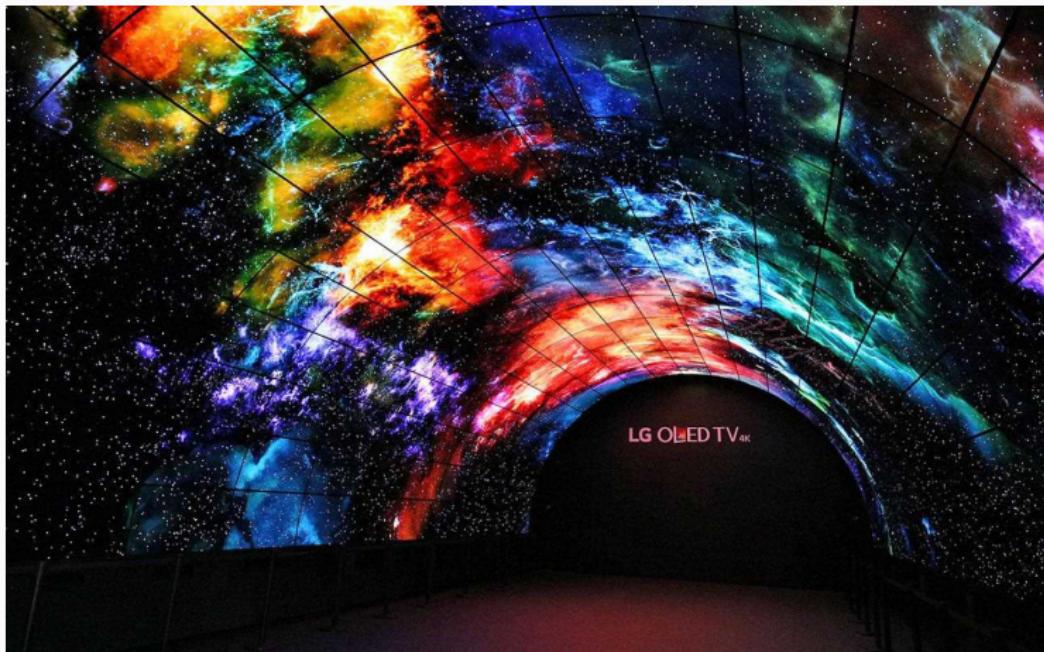


Figure 4: Il tunnel OLED più grande del mondo, composto da 144 schermi OLED, alla Canton Tower di Guangzhou.

Efficienza e prestazioni (cont'd)

- Il più grande **problema** dei display OLED è nella **durata limitata dei materiali organici**. In particolare, gli OLED hanno una durata di circa 14.000 ore (5 anni ad 8 ore al giorno) quando vengono usati per display sottili, che è più bassa della durata tipica dei display LED che attualmente valutata in 60.000 mila ore circa, a seconda del produttore e del modello.

Fine