**دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی**

**دانشکده فیزیک**

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش حالت جامد

**عنوان**

# بررسی انتقال بار در دیود نور گسیل ارگانیک به منظور بهینه سازی ساختار

**نگارش**

مریم هلال ماکوئی

**اساتید راهنما**

دکتر محمود جعفری

دکتر عزالدین مهاجرانی

بهمن ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

این پایان‌نامه را

به پدر بزرگوارم،

که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

به مادر عزیزتر از جانم،

دریای بی‌کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

تقدیم می‌دارم

**سپاس‌گزاری**

سپاس بی‌پایان خداوندی را که بر بنده کوچک خود توفیق دانش‌اندوزی را مرحمت فرمود و او را علیرغم ظرفیت و لیاقت محدود، در این راه یاری نمود. اکنون که به مدد توفیق الهی بخشی از راه بلند و بی‌پایان کسب علم به‌سرآمده، بر خود لازم می‌دانم از همه کسانی که مرا در این مسیر راهنما و یاور بوده‌اند، با حداکثر بضاعتم تشکر و قدردانی نمایم.

سپاس و تشکر قلبی خود را خدمت استاد محترمم جناب آقای دکتر مهاجرانی که بی‌تردید الطاف بی-دریغشان ضامن توفیق این اثر بود، ابراز نمایم. همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر جعفری نهایت تشکر را دارم. از آقایان دکتر واعظ زاده و دکتر قناعت شعار که زحمت بازخوانی و داوری این پروژه را عهده-دار شدند، قدردانی می‌نمایم. از آقای جانقوری و آقای فتح اللهی که در طول انجام این تحقیق با ارائه نظرات و نکات دقیق خود به من یاری رساندند و وقت خود را در اختیار من قرار دادند، نهایت تشکر را دارم.

و سپاس از مادر و پدرم که گرمی دستانشان و اتکای آغوششان را در پس هر بار زمین خوردنم به یاد می‌آورم. روزی به همتشان از زمین برخاستم و امروز به امید رضایتشان قلم بر کاغذ می‌گذارم.

چکیده

هدف از این پایان‌نامه بررسی و شبیه‌سازی نحوه تغییرات تحرک بار، با تغییر نرخ تبخیر ذرات ماده آلی، در یک دیود نورگسیل آلی است. برای این منظور، از بین مدل‌های مختلفی که برای تحرک حاملها در یک دیود نورگسیل آلی ارائه شده است، از مدل تصحیح شده پرشی ناشی از چگالی حالتهای گاوسی شکل را، که توسط آقای Baessler ارائه شده، استفاده کرده‌ایم.

قدم بعدی به دست آوردن پارامترهای ذکر شده در این رابطه برای ماده $Alq_3$ بود، و سپس اقتباس سایر پارامترها به صورت رابطه‌ای که ارتباط آن را با ویژگی‌های مختص $Alq_3$ نشان دهد.

با به کارگیری این مدل، مراحل بعدی کار که بررسی عوامل موثر در تحرک حامل‌های بار و ارتباط آن با نرخ تبخیر و اندازه ذرات لایه نشانی شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. سپس مقایسه ای بین نحوه تغییرات تحرک با اندازه ذرات، با استفاده از نتایج به دست آمده از کار تجربی که توسط آقای T.Andersson انجام شده بود، و شبیه سازی نحوه این تغییرات با کمک مدل بیان شده، انجام شد و مشاهده شد که هر دو نتیجه با هم همسو هستند.

**کلید واژه:** دیود نور گسیل آلی، اندازه ذره، چگالی گاوسی حالت‌ها، مرز ذرات

فهرست مطالب

چکیده.....۱

فصل اول: آشنایی با دیود نورگسیل آلی

مقدمه و تاریخچه.....۳

۱-۱ساختار کلی یک دیود نورگسیل آلی.....۵

فصل دوم: ساختار و عملکرد دیود نورگسیل

۲-۱ ساختار و نحوه عملکرد یک دیود نور گسیل آلی.....۸

۱-۲-۱ طرز کار OLED .....۸

۱-۲-۲ رفتار دیود نور گسیل آلی بر اساس ولتاژ.....۹

۱-۲-۳ OLED های چند لایه.....۱۲

۲-۲ مکانیزم تزریق حامل‌ها در یک دیود نورگسیل آلی.....۱۳

۲-۲-۱ رسانش در یک نیمه رسانای آلی.....۱۳

۲-۲-۲ تشکیل سد انرژی بین فلز و ماده‌ی آلی.....۱۵

۲-۲-۳ مدل‌های تزریق بار.....۱۵

۲-۲-۳-۱تابش گرمائی ریچاردسون شاتکی.....۱۶

۲-۲-۳-۲ تونل زنی فولر نوردهیم.....۱۷

۲-۳ انتقال حامل‌ها.....۱۸

۲-۴ بازترکیب حامل‌ها و تشکیل اکسایتون.....۱۹

۲-۵ معادلات حاکم.....۲۰

۲-۵-۱معادلات پیوستگی.....۲۰

۲-۵-۲ معادله‌ی پواسون.....۲۱

۲-۵-۳ معادلات جریان..... ۲۳

۲-۵-۴ چگالی و غلظت بار..... ۲۳

۲-۵-۶ روابط حاکم بر تشکیل اکسایتون‌ها..... ۲۴

فصل سوم: تحرک حامل بار

۳-۱ مفهوم تحرک و اندازه‌گیری آن..... ۲۷

۳-۲ بررسی نحوه تغییرات تحرک با تغییر پارامترهای مختلف..... ۳۰

۳-۳ انتقال بار در مواد نیمه رسانای آلی..... ۳۲

۳-۴ شبیه‌سازی تغییرات تحرک..... ۳۷

۳-۵ رابطه تحرک با تغییر نرخ لایه نشانی..... ۴۶

نتیجه گیری..... ۵۴

پیشنهادات..... ۵۵

منابع..... ۵۶

فهرست جدول‌ها، نمودارها و اشکال

شکل (۱-۱) ساختار شیمیایی $Alq_3$ و آنتراسن و ppv..... ۴

شکل(۱-۲) ساختار یک دیود نورگسیل آلی..... ۶

شکل(۱-۲-۱) ساختار و نحوه عملکرد دیود نورگسیل آلی..... ۹

شکل(۱-۲-۲) منحنی I-V یک دیود..... ۱۰

شکل (۲-۲-۲) خم شدگی ترازها در مرز فلز و ماده آلی..... ۱۵

شکل(۲-۲-۳-۱) تابش گرمایی و گذار حامل‌ها از فلز به ماده آلی..... ۱۷

شکل(۲-۲-۳-۲) تونل زنی حامل بار..... ۱۸

شکل (۳-۲) انتقال بار در ماده..... ۱۹

شکل (۴-۱) دستگاه اندازه‌گیری تحرک..... ۲۹

نمودار(۴-۲-۱) وابستگی تحرک به میدان در دماهای مختلف..... ۳۰

نمودار(۴-۲-۲) وابستگی تحرک به غلظت ..... ۳۱

شکل(۴-۳-۱) انتقال جهشی حامل‌ها..... ۳۴

شکل(۴-۴) ایزومرهای ماده $Alq_3$ ..... ۳۸

جدول(۴-۴-۱) مقادیر ثابت در نظر گرفته شده ..... ۳۹

نمودار (۴-۴-۱) شبیه‌سازی وابستگی تحرک به ولتاژ در ضخامت‌های مختلف..... ۳۹

نمودار (۴-۴-۲) نتایج تجربی وابستگی تحرک به ولتاژ اعمالی در ضخامت‌های مختلف..... ۴۰

نمودار(۴-۴-۳) شبیه‌سازی وابستگی تحرک به ضخامت $Alq_3$ ..... ۴۰

نمودار(۴-۴-۴) نتایج تجربی وابستگی تحرک به ضخامت $Alq_3$..... ۴۱

نمودار(۴-۴-۵) شبیه‌سازی تغییرات تحرک با تغییرات دما..... ۴۳

نمودار(۴-۴-۶) شبیه‌سازی تغییرات تحرک با دوقطبی..... ۴۲

نمودار(۴-۴-۷) شبیه‌سازی تغییرات تحرک با فواصل پرش.....۴۵

شکل(۴-۴-۱) تفاوت در اندازه ذرات لایه نشانی شده.....۴۷

شکل(۴-۴-۲) نمودار مشخصه OLED یک لایه در آهنگ‌های مختلف.....۴۸

شکل(۴-۴-۳) تفاوت در مورفولوژی سطح $Alq_3$ .....۴۹

شکل(۴-۴-۸) تغییرات فواصل پرش با اندازه ذره.....۵۱

نمودار(۴-۴-۹) تغییرات تحرک بر اساس اندازه ذره بر پایه کار تجربی.....۵۱

نمودار (۴-۴-۱۰) شبیه‌سازی تغییرات تحرک بر اساس اندازه ذره.....۵۳

پیشگفتار

امروزه، دیودهای نورگسیل آلی به عنوان منبع نور، کاربردهای فراوانی در ساخت نمایشگرها و قطعات انعطاف‌پذیر پیدا کرده‌اند.

گروههای تحقیقاتی مختلفی هم در داخل و هم در خارج از کشور مشغول کار بر روی این نوع از دیودها هستند. گروههایی چون Bradley در دانشگاه Imperial College London، Williamsدر دانشگاه Durham انگلستان، Burn در دانشگاه Queensland استرالیا، موسسه تحقیقاتی Phillips در آلمان، از جمله مراکزی هستند که در این زمینه کار می‌کنند.

تحقیقات انجام گرفته در این زمینه پیشرفت های فراوانی را در زمینه، ساخت قطعاتی با طول عمر بیشتر و هزینه کمتر، نوردهی بالا، مقاوم در برابر رطوبت و دمای زیاد، به ارمغان آورده است. شناخت و درک مفاهیم فیزیکی و اصولی این نوع از دیودها، یک قدم اساسی برای بهینه سازی آنها می باشد. تحرک حامل بار به عنوان مهم ترین ویژگی یک دیود نور گسیل آلی، نقش مهمی در کارکرد این نوع دیودها دارد.

تحرک بار، به کمیتهای گوناگونی بستگی دارد، به طوریکه تغییر هر کدام از این کمیتها، تاثیر به سزایی در افزایش و یا کاهش تحرک خواهد داشت.

وابستگی تحرک به پارامترهایی همچون، دما، ولتاژ، غلظت حامل بار، میدان الکتریکی، ضخامت لایه آلی و غیره، مواردی هستند که مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

از آنجائیکه مواد آلی به هر دلیلی ممکن است شامل ناخالصی باشند، که این ناخالصی‌ها به عنوان تله مانعی خواهند بود در جهت حرکت حامل‌های بار، به همین دلیل مطالعه این نوع تاثیر بر روی تحرک، از اهمیت فراوانی برخوردار است و بسیار به آن پرداخته شده است. آلائیده کردن ماده آلی یکی از روشهایی است که می‌تواند به بهبود ویژگی‌های آن کمک کند. لذا مطالعه تحرک مواد آلی داپه شده، موردی است که به سهم خود، مورد بررسی قرار گرفته است.

کنترل تحرک بار، قدم اساسی در جهت بهبود کارآرائی این دیودهاست. یکی از روشهایی که از طریق آن می‌توان به این هدف رسید، کنترل اندازه ذرات لایه نشانی شده است. این کار برای اولین بار در سال ۲۰۰۶ انجام شد و مشاهده شد که از طریق تغییر آهنگی که توسط آن ذرات لایه نشانی می‌شوند، می‌توان اندازه آنها را کنترل کرد.

پایان‌نامه پیش رو، به مطالعه و بررسی نتایج حاصل از  این موضوع پرداخته است. راستای این پروژه، بررسی نظری این فرایند بر روی یک دیود نور گسیل آلی مبتنی بر $Alq_3$ است.

در این کار، به تاثیر این فرآیند بر روی ویژگی خاصی از ماده، که این ویژگی فواصل درون مولکولی است، نگاهی خواهیم داشت. سپس نحوه تغییرات تحرک با تغییر آهنگ تبخیر را بررسی خواهیم کرد.

این پایان‌نامه مشتمل بر ۴ فصل می‌باشد. در فصل اول مقدمه‌ای بر آشنایی و معرفی دیود نورگسیل آلی خواهیم داشت.

در فصل دوم به شرح و توضیح ساختار OLED [1] و نحوه عملکرد آن، فرآیندهایی که منجر به گسیل نور از آن می‌شود، معرفی OLED های چند لایه، نحوه تزریق و انتقال بار در داخل دیود، معرفی معادلات حاکم منجمله معادلات پیوستگی، معادله پواسون و معادلات حاکم بر تشکیل اکسایتون خواهیم پرداخت.

در فصل سوم، ابتدا مفهوم تحرک را خواهیم گفت و سپس به معرفی مدلی که برای آن در نظر گرفتیم خواهیم پرداخت. در ادامه بسط پارامترهای موجود در رابطه مورد نظر و بیان آنها بر اساس پارامترهای مربوط به ماده آلی، را خواهیم داشت. سپس به شبیه‌سازی تاثیر تغییرات این پارامترها بر روی تحرک خواهیم پرداخت و خواهیم دید که وابستگی و تابعیت تحرک نسبت به اندازه ذرات چگونه است و با تغییر آن، تحرک به چه نحو تغییر خواهد کرد.

سپس از مباحث مطرح شده، نتیجه‌گیری و در انتها به ارائه چند پیشنهاد برای ادامه کار می‌پردازیم.

[1] Organic light emitting Diode

# فصل اول

آشنایی با دیود نورگسیل آلی

## ۱-۱تاریخچه

استفاده از مواد آلی برای ساختن دیودهای نورگسیل آلی، جهت استفاده در نمایشگرها در سالهای اخیر مورد توجه بسیاری واقع شده است. به علت سادگی در ساخت و همچنین قابلیت ساخته شدن به صورت لایه های نازک انعطاف‌پذیر و مصرف انرژی کمتر، این نوع دیودهای آلی نسبت به دیودهای غیرآلی برتری زیادی دارند.

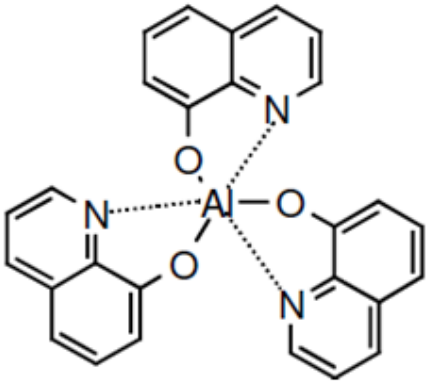
نمایشگرهای ساخته شده از این نوع دیودها قابلیتهای فراوانی از جمله زمان پاسخ‌دهی سریع، گستردگی زاویه دید، قابلیت کار در بازه دمائی گسترده، و محدوده وسیع رنگ می‌باشد. علاوه بر مزایای ذکر شده می‌توان به سازگاری این نوع نمایشگرها با محیط زیست اشاره کرد. چون اغلب مواد استفاده شده در آنها مواد آلی و پلیمری است که قابلیت تجزیه در محیط زیست را دارند. موادی که در ساخت این نوع دیودها به کار برده می‌شوند باید از پایداری خوبی در برابر گرما برخوردار باشند. علاوه بر این در محدوده دمائی بیشتری کارکرد داشته باشند و در برابر عواملی مثل نور، رطوبت هوا و... مقاوم و پایدار باشند.

اولین گزارش از نور گسیلی مواد آلی به سال ۱۹۶۵ مربوط است که یک کریستال آنترانس[1] با ضخامت چند میلیمتر تحت ولتاژ ۴۰۰ ولت شروع به نورگسیلی کرد که به علت ولتاژ کاری بالا و بازده کم مورد توجه چندانی قرار نگرفت[۱].

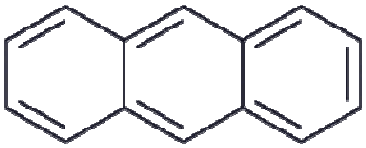
در اواسط ۱۹۶۰ پلیمرها داپه شده با ساختار مولکولی ساخته شدند. در این ساختار از خواص نیمه‌رسانایی مولکولهای آلی کوچک و خواص مکانیکی پلیمرها ( سبک، انعطاف پذیر و مقاوم در برابر تاثیرات محیطی مثل خوردگی و مقاومت مکانیکی بالا) بهره گرفته شد. از سال ۱۹۷۰ تا سال ۱۹۸۰ مطالعاتی بر روی فیلمهای نازک مواد آلی انجام گرفت. در ساخت فیلم های نازک دو موضوع مورد نظر است: یافتن الکترود مناسب جهت تزریق[2] بهتر بار و ساختن فیلمی یکنواخت و بدون ناخالصی. در سال ۱۹۸۷ اولین دیود نورگسیل دو لایه ساخته شده از مواد آلی توسط Tang و همکارانش مورد مطالعه قرار گرفت که یک دیود نور گسیل دو لایه با ضخامت ۱۰۰ نانومتر بود که شامل یک لایه $Alq_3$ و یک لایه Diamine بود که به شکل تبخیری لایه نشانی شده بود. این قطعه دارای بازده کوانتومی۱٪ بوده و در ولتاژ ۱۰ ولت شروع به نور

[1] anthracene
[2] injection

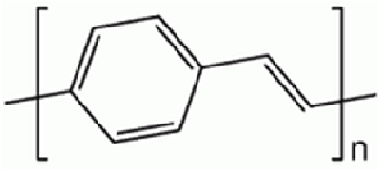
گسیل می‌کرد. سه سال بعد، در سال ۱۹۹۰ پروفسور ریچارد فرند[1] در دانشگاه کمبریج خاصیت نورگسیلی از یک نوع پلیمر مزدوج [2] به نام ppv [3] را گزارش دادند[۲].




$Alq_3$-(tris(8-hdroxy-quinolinato)-aluminium)



anthracene




ppv

**شکل۱-۱**: ساختار شیمیایی الف. $Alq_3$ ب. آنتراسن ج. پلیمر ppv [۲].

[1] Richard Friend
[2] Conjucated polymer
[3] Poly phenylene vinylene

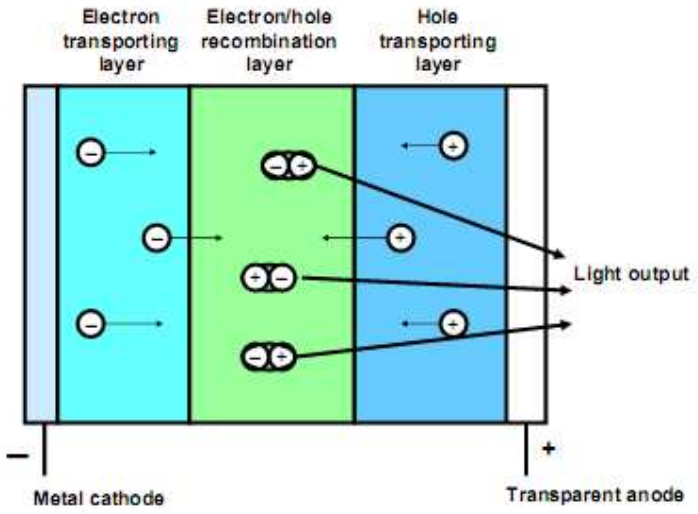
### ۱-۲ساختارکلی یک دیود نورگسیل آلی

این نوع دیودها از یک ساختار به صورت فلز- نیمه رسانای آلی- فلز، تشکیل می‌شود و با استفاده از روش های متداول یک لایه فلزی که معمولا ITO [1] است روی یک زیر لایه شیشه‌ای نشانده می‌شود. این لایه به عنوان آند عمل می‌کند. از آنجا که لایه آلی به طور مستقیم با آند در تماس است، خواص سطحی آن می‌تواند بر عملکرد قطعه تاثیر بگذارد. وجود ناهمواری سطحی باعث کاهش سطح تماس و در نتیجه کاهش میزان تزریق بار خواهد شد. بعد از آند، لایه یا لایه های آلی بعدی با یکی از روش‌های لایه‌نشانی روی آن نشانده می‌شود و در نهایت فلز کاتد لایه‌نشانی می‌شود. گستره انتخاب فلز کاتد، بسته به نوع لایه آلی می‌تواند تغییر کند. آلومینیوم، کلسیم ، طلا، نقره و... از دسته این فلزات هستند. مواد به کار رفته در کاتد باید تابع کار پائینی داشته باشند. اما موادی که دارای رسانایی خوب باشند و تابع کار پائینی داشته باشند، اغلب به راحتی با هوا و سایر مواد واکنش می‌دهند. موادی مثل سدیم و کلسیم از این دسته اند. برای حل این مشکل، بیشتر از آلیاژهای فلزی استفاده می‌شود، مثل منیزیم-کلسیم و... در این روش هر دو ماده همزمان به روش تبخیری لایه‌نشانی می‌شوند. بکار بردن نرخ تبخیر مناسب و درصد ترکیب مواد در این حالت اهمیت زیادی دارد. به علت مشکلاتی که در این روش وجود دارد در بسیاری از موارد از فلزاتی استفاده می‌شود که پایدارتر هستند گر چه تابع کار آنها نسبت به حالت قبل بیشتر است. آلومینیوم به عنوان کاتد به علت رسانایی خوب و قابلیت آینه‌ای بالا و پایداری خوب بکار می رود، گرچه تابع کار بالای آن (۴.۲ الکترون ولت) نقطه ضعف آن نسبت به آلیاژها می‌باشد[۳].

در دیودهای نور گسیل نیاز به تزریق الکترون از یک طرف و حفره از طرف دیگر می‌باشد تا در نهایت ترکیب الکترون و حفره نور تولید کند. اصولاً موادی که هم توانایی انتقال حفره و هم الکترون را داشته باشند کمیاب هستند و لذا درساختار این نوع دیودها می توان از یک یا چند لایه از مواد آلی استفاده کرد که به تزریق و انتقال حامل‌ها به داخل قطعه کمک می‌کنند و دیگر اینکه یک سطح نرم و هموار را برای لایه نشانی فیلم پلیمری آماده می‌کنند و همچنین مانع اتصال کوتاه دو فلز می‌شوند[۱].

شکل زیر ساختاری از OLED را که بر اساس مواد آلی ساخته شده را نشان می‌دهد. ساختار این دیود شامل لایه ی انتقال دهنده الکترون[2]، لایه انتقال دهنده حفره[1] می‌باشد[۴].

[1] Indium Tin Oxide
[2] Electron transport layer




**شکل۱-۲**: ساختار یک دیود نور گسیل آلی [۴]

تلاشهای بسیار زیادی جهت بهبود کیفیت این نوع دیودها و همچنین برای افزایش بازده و بالا بردن طول عمر آنها انجام شده است و نتایج چشم‌گیری توسط گروههای مختلفی که در این زمینه کار می‌کنند به دست آمده است. در این پایان‌نامه، هدف ما بررسی تاثیر تغییرات نرخ تبخیر لایه‌های نازک موجود در ساختار این دیودها، بر روی تحرک حامل‌های بار بوده است.

[1] Hole transport layer

# فصل دوم

ساختار و عملکرد دیود نورگسیل

در این فصل مروری خواهیم داشت بر ساختار یک OLED و موادی که در ساختار آن به کار برده می‌شود. نحوه کار یک OLED، معرفی ترابرد SCLC، نحوه تزریق بار به داخل ساختار OLED و انواع مکانیسم‌های تزریق بار و روابط مربوط به هر کدام از آنها، نحوه انتقال بار و در نهایت روابط ریاضی که در این نوع دیودها وجود دارد را بیان خواهیم کرد.

## ۲-۱ساختار و نحوه عملکرد یک دیود نورگسیل آلی

تمام فیلم های نازک ساخته شده از مواد آلی که در ساختار این دیودها به کار می‌روند، نیمه‌رساناهایی با گاف انرژی وسیع هستند که مقاومت آنها چیزی در حدود $10^{15}\Omega\, cm$ است و این به این معنی است که هیچ باری در ساختار قطعه مورد نظر وجود ندارد مگر بارهایی که از خارج از قطعه و از طریق الکترودها وارد قطعه می‌شود.

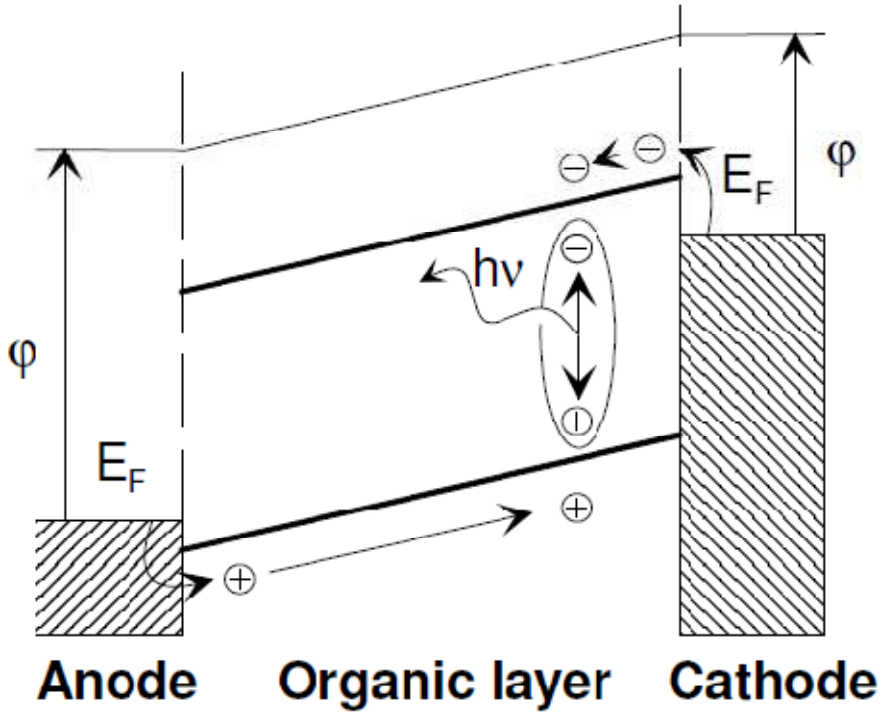
### ۱-۲-۱طرزکار OLED

برای اینکه در این نوع دیود الکترولومینسانس[1] رخ دهد باید یک ولتاژ خارجی از ماده گسیلنده[2] عبور کند و این کار با ساندویچ کردن ساختار OLED بین دو الکترود به دست می‌آید. حداقل یکی از الکترودها باید شفاف باشد تا نور بتواند از آن بگذرد. ایندیوم تین اکساید (ITO) معمولا به عنوان آند استفاده می‌شود. این ماده یک نیمه‌هادی است که ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی ویژه‌ای دارد. رسانندگی بالا و عبور اپتیکی بسیار زیاد در ناحیه نور مرئی از ویژگی‌های بارز آن است.

هنگامی‌که یک ولتاژ اعمال می‌کنیم الکترون‌ها از کاتد با تابع کار پایین به داخل تراز LUMO[3] (پایین ترین اوربیتال مولکولی اشغال نشده ) لایه انتقال دهنده الکترون مجاور تزریق می‌شوند. در این لایه الکترون‌ها از طریق جهش از ترازهای LUMO مولکول‌های مجاور به طرف آند حرکت می‌کنند. آند ITO که به عنوان زیر ماده روی ماده‌ای شیشه‌ای آغشته می‌شود انتخاب می‌شود. ITO تابع کار پایینی برای تزریق حفره به داخل تراز HOMO[4] ( بالاترین اوربیتال مولکولی اشغال شده ) لایه انتقال دهنده حفره مجاور را دارد. الکترون‌ها و حفره‌ها تحت میدان الکتریکی ایجاد شده در داخل وسیله به طرف منطقه بازتابش رانده می‌شوند. هنگامی‌که این دو حامل همدیگر را در لایه گسیلنده ملاقات می‌کنند با هم تشکیل اکسایتون می‌دهند. اکسایتون طول

[1] Electroluminescence
[2] Emitter
[3] Lowest Unoccupied Molecular Orbital
[4] Highest Occupied Molecular Orbital

عمر معینی دارد که بعد از سپری شدن آن، واپاشیده [1] شده و نور گسیل می‌کند. طول موج نور گسیل شده مشخصه ماده آلی هست. بهره کوانتومی یک OLED مقدار نور گسیل شده تقسیم بر مقدار جریان تزریق شده به داخل قطعه می‌باشد.




**شکل۱-۲-۱**: ساختار یک OLED تک لایه را نشان می‌دهد که یک ولتاژ V به آن اعمال شده است. مراحل لازم برای نورگسیلی در شکل نشان داده شده است. ابتدا الکترون‌ها و حفره‌ها از الکترودهای مخالف تزریق می‌شوند و از طریق لایه آلی انتقال پیدا می‌کنند و نزدیک الکترود سمت راست با هم باز ترکیب می‌شوند.( تحرک حفره‌ها بزرگ‌تر از الکترون‌ها است)[۵].

**۱-۲-۲رفتاردیودنورگسیل آلی براساس ولتاژ**

براساس ولتاژدوسر دیود، سه ناحیه بر روی منحنی جریان ولتاژ از هم تفکیک می‌شوند:

۱)در حد ولتاژهای پایین رابطه جریان و ولتاژ به صورت خطی است:

$$J = Eq\mu n_0 = \frac{q\mu n_0 V}{d} \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه، d ضخامت لایه آلی، و μ پارامتر تحرک‌پذیری[1] حامل های بار و $n_0$ چگالی بارهای آزاد است.

[1] decay

۲)در ولتاژهای میانی حالت‌های تله[۲] افزایش می‌یابد. این حالت‌ها به لحاظ انرژی در ترازهای HOMO و LOMO نیمه‌رسانا قرار می‌گیرند. علت به وجود آمدن این حالت‌ها، ناخالصی‌های موجود در ماده نیمه‌رسانا است. بارهایی که در این حالت قرار می‌گیرند از فرآیند انتقال بار حذف می‌شوند. در ولتاژهای میانی تله‌ها به طور موثر بر روی پارامتر تحرک‌پذیری حامل‌ها اثر می‌گذارند. این پدیده ترابرد محدود شده توسط بارهای به دام افتاده[۳] نامیده می‌شود.

$$j_{TCL} \propto \frac{V^{m+1}}{d^{2m+1}} \qquad (۲-۲)$$

ضریب m از روی رسم نمودار lnj بر حسب lnV به صورت تجربی حاصل می‌شود.

۳)در ولتاژهای بالا همه حالت‌های تله اشباع شده‌اند و رابطه ولتاژ و جریان دوباره به صورت SCLC خواهد بود.

این منحنی در شکل (۱-۲-۲) نشان داده شده است. این سه ناحیه از روی شکل پیدا است.

الف) هنوز باری به داخل ترازهای رسانش تزریق نشده است و قطعه شبیه یک مقاومت با رسانش اهمی عمل می‌کند.

ب) جریان sclc به وجود می‌آید ولی تحرک حامل ها به دلیل وجود تله ها پائین است.

ج) بعد از اینکه تله ها پر شد جریان افزایش پیدا می‌کند.

[1] Mobility
[2] Trap
[3] Trap Charge Limited( TCL )