**مروری بر دیود های ساطع کننده نور آلی­ها و تکنولوژی ذخیره انرژی در روشنایی**

**فاطمه نوروزیان[[1]](#footnote-1)،1، شاهین قربانی­زاده شیرازی**

**1- دانشجو، دانشکده برق و کامپیوتر، مؤسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران**

**2- استادیار، دانشکده برق و کامپیوتر، مؤسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران**

**خلاصه**

این مقاله منعکس­کننده دستاوردها و چالش­های پیش­رو در زمینه دیودهای ساطع کننده نور آلی[[2]](#footnote-2) (OLED) است. OLEDها به دلیل ویژگی­های برجسته از جمله کیفیت رنگ برتر­، زاویه دید گسترده­، تولید بدون جیوه و انعطاف­پذیری به سرعت به­عنوان یکی از فنآوری های پیشرو در صفحه­های نمایش تمام رنگی و منابع نور سازگار با محیط زیست شناخته شده­ و رشد بسیاری کرده­اند. انواع مختلفی از مواد، معماری افزاره و همچنین تکنیک­های پردازش برای بهینه­سازی عملکرد OLED به منظور تحقق نیازهای روشنایی و نمایشگری بررسی شده است. در ادامه، ابتدا مکانیسم­های انتشار نور مواد الکترولومینسانس بررسی می­شود. سپس، معماری افزاره طراحی شده با هدف تحقق مکانیسم­های مختلف انتشار نور بررسی می­شود همچنین درباره نسل روشنایی­ها وپیشرفت­هایش تا به امروز اطلاعاتی نیز بدست خواهیم آورد و در ادامه به بررسی OLEDهای سفید می­پردازیم و در آخر هم مروری بر چالش­های کلیدی OLEDها در دهه اخیر که شامل مواد مورد استفاده و همچنین تکنیک­های الگو سازی و ... است خواهیم داشت.

**کلمات کليدي:** OLED، انعطاف­پذیر، لومینسانس، لایه نشانی در خلا، آلی

**1. مقدمه**

دیودهای ساطع­کننده نور آلی به دلیل کاربردهای شگفت­انگیزشان در صفحه­های نمایش تمام رنگی و منابع روشنایی سازگار با محیط زیست، از زمان Tang و Van Slyke که پیشگامان ایجاد آنها در 1987 بودند، مورد توجه بسیاری قرار گرفته­اند. هم در دانشگاه و هم در صنعت، تلاش­های زیادی برای توسعه OLED با عملکرد بالا از نظر بازدهی، درخشندگی، گستره رنگ، پایداری افزاره و تکنیک­های ساخت انجام شده است. امروزه، OLEDها در لوازم الکترونیکی مختلف، مانند تلفن­های همراه، دوربین­های دیجیتال و تلویزیون­های با کیفیت بالا، استفاده شده است. با این­حال، بهینه­سازی بیشتر عملکرد OLEDها همچنان برای منابع نور و نمایشگرها بسیار چالش برانگیز است. یک عامل چالش برانگیز برای تحقق OLEDهایی با کارایی بالا، طراحی و سنتز مواد پلیمری پیشرفته و مولکولی کوچک با خصوصیات الکتریکی و نوری مناسب برای استفاده کامل از اکسیتون­های یگانه و سه­گانه برای تبدیل انرژی است. علاوه بر این، استفاده از انرژی نیز تحت تأثیر فرآیند تزریق شارژ قرار می­گیرد، که عمدتا توسط خصوصیات عبور الکتریکی مواد و ساختار افزاره تعیین می­شود. همچنین، با توجه به تأثیر همزمان معماری افزاره بر ولتاژ کارایی و بازده درخشندگی OLEDها، طراحی یک معماری مناسب چالشی دیگر است. اگر چه علی­رغم معماری متنوع افزاره، OLEDهای کارآمد همه در ساختار چند فیلم نازک قرار دارند که منجر به نقص قابل توجه OLED می­شود زیرا بخش بزرگی از فوتون­های تولید شده به دلیل عدم تطابق ضریب شکست بین فیلم­های عملکردی تخت در افزاره به دام می­افتند. در نتیجه، تنها 20 تا30٪ جریان انرژی می­تواند به صورت فوتون از افزاره تابش کند، این نقص باعث می­شود که توسعه OLEDهای بسیار کارآمد محدود شود. بنابراین، ارائه استراتژی­هایی جهت استخراج کارآمد نور ساطع شده یکی از اصلی­ترین چالش­ها برای دستیابی به افزاره­هایی با کارایی بالاتر است. بعلاوه، از آنجا که OLED پتانسیل زیادی در نمایشگر و نورپردازی انعطاف­پذیر دارد، تلاش­های زیادی برای تحقیق در مورد OLEDهای انعطاف­پذیر، به ویژه الکترودهای رسانای شفاف انعطاف­پذیر[[3]](#footnote-3)(TCE) انجام شده است. قابل توجه اینکه، الکترودهای بدون [[4]](#footnote-4)ITO ارائه شده نیز در تقویت استخراج نور نقش مهمی دارند. در این راستا، تلفیق استراتژی­های استخراج نور و الکترودهای انعطاف­پذیر با استفاده از معماری­های مناسب افزاره، از تحقق OLED های بسیار کارآمد سود می­برد، بنابراین نیاز سناریوهای واقعی را برآورده می­کند. در این راستا، تلفیق استراتژی­های استخراج نور و الکترودهای انعطاف­پذیر با استفاده از معماری­های مناسب افزاره، باعث تحقق OLEDهای بسیار کارآمد شده است. در این مقاله مروری، ابتدا خلاصه­ای از مکانیسم­های انتشار مواد و افزاره­های الکترولومینسانس آلی برای درک بهتر از زمینه طراحی ساختار افزاره آورده شده است. پس از آن، معماری­های مختلف افزاره و ویژگی­های آنها به­طور سیستماتیک همراه با بحث مختصری در مورد فناوری­های ساخت بررسی می­شود. ما همچنین پیشرفت استراتژی­های استخراج نور را مرور می­کنیم.

**2. مبانی لومینسانس**

نور نوعی از انرژی است در نتیجه برای ایجاد نور، باید شکل دیگری از انرژی تأمین شود. دو روش متداول برای ایجاد نور وجود دارد: فروزندگی [[5]](#footnote-5)و تابناکی[[6]](#footnote-6). فروزندگی به تراگسیل تابش الکترومغناطیسی از یک جسم داغ به دلیل دمایش گفته می‌شود[1]. به­طور مثال می­توان به لامپ­های تنگستن و یا بخاری­های برقی که پس از داغ شدن المنت­های آن نور قرمز داغ از آن­ها ساطع می­شود اشاره کنیم. تابناکی یا فروزستی، تابش فوتون‌‌‌‌‌های نور (فرابنفش، مرئی یا فروسرخ) از یک جسم به دلیل‌ گذار الکترون‌‌‌‌‌های برانگیخته از تراز‌‌‌‌های بالا به پایین است[2]. در تابناکی دلیل تابش جسم، گرما نیست بلکه‌ گذارِ اندرنواری الکترونی است.

انواع مختلفی از تابناکی یا همان لومینسانس وجود دارد که در ادامه هر یک از آن­ها را بررسی خواهیم کرد:

شیمی لومینسانس[[7]](#footnote-7) : نشر نور در نتیجه انجام یک واکنش شیمیایی است. انرژی واکنش شیمیایی منجر به ایجاد محصولی در حالت برانگیخته می­گردد که بعد از بازگشت به حالت پایه نور ساطع می­کند.

بیولومینسانس :[[8]](#footnote-8)­یکی از انواع شیمی لومینسانس است که در آن تولید نور توسط ارگانیسم­های زنده صورت می­گیرد. این موجودات اغلب در سطح دریا تجمع می­کنند. دو ترکیب شیمیایی به نام های لوسیفرین[[9]](#footnote-9)که یک رنگدانه می­باشد و لوسیفراز[[10]](#footnote-10) که یک آنزیم است، در این فرایند دخیل هستند. واکنش لوسیفرین با اکسیژن توسط لوسیفراز کاتالیز شده و در نهایت منجر به تولید نور می­گردد.

الکترولومینسانس[[11]](#footnote-11): بازترکیب ناگهانی الکترون و حفره در جامداتی مثل ترکیبات نیمه­هادی و عایق که منجر به عبور جریان ناگهانی شده، شکست دی­الکتریک[[12]](#footnote-12) نامیده شده که در نتیجه اعمال میدان­های الکتریکی بالا حاصل می­شود. در الکترولومینسانس، فرآیند شکست دی­الکتریک منتهی به نشر نور از جامد می­گردد. الکترولومینسانس اغلب هنگام نوازش ابریشم یا خز یا جدا شدن سطوح چسبناک ظاهر شود.

تریبولومینسانس[[13]](#footnote-13) : نشر نور در نتیجه اعمال تنش مکانیکی[[14]](#footnote-14) بر ترکیبات کریستالی و یا شکست کریستال می­باشد (این فرآیند با اسامی Mechanoluminescence, Fractoluminescence Piezoluminescence نیز شناخته می­شود). هر چند از شناسایی ترکیباتی که این خاصیت را دارا می باشند بیش از ۴۰۰ سال می­گذرد، هنوز تئوری مشخصی برای توصیف این پدیده وجود ندارد. مکانیزم این پدیده به­طور کامل شناخته شده نیست ولی به نظر می­رسد که علت آن جدایی و بازترکیب[[15]](#footnote-15) مجدد بارها در ماده است.[3]

تابناکی یا لومینسانس خود دارای دو زیر مجموعه فسفرسانس و فلورسانس می­باشد:

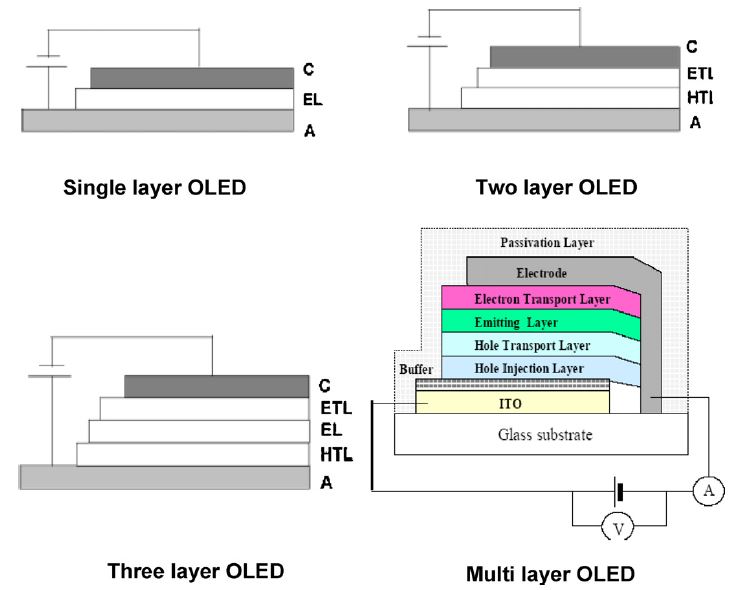
اگر لومینسانس به دلیل جذب نوعی انرژی تابشی مانند اشعه ماورا بنفش یا اشعه X ایجاد شده باشد (یا به دلیل شکل دیگری از انرژی مانند فشار مکانیکی) و به محض متوقف شدن تابش (یا اندکی بعد) متوقف ­شود، آنگاه به عنوان فلورسانس شناخته می­شود. چیزی که در این فرآیند اتفاق می­افتد این است که پس از آنکه که الکترون با جذب فوتون پرانرژی (نور با طول موج کوتاه) از تراز پایه به تراز برانگیخته می‌رود، تمایل دارد که با تابش فوتون انرژی خود را از دست بدهد و به تراز پایه برگردد. در اینجا ممکن است که الکترون مستقیماً به تراز پایه برنگردد؛ بلکه ابتدا به ترازهای برانگیخته پایین‌تر رفته و سپس به تراز پایه برسد که در این حالت الکترون، فوتون‌هایی با انرژی کمتر (یعنی طول موج بلندتر) از خود ساطع می‌کند که ممکن است برای چشم انسان قابل دیدن باشد. حال اگر لومینسانس پس از متوقف شدن تابش ناشی از آن ادامه یابد، آن را به عنوان فسفرسانس می شناسند. در فلورسانس، انتشار لومینسانس دارای طول عمر کمتر از 8 تا 10 ثانیه است، در حالی که در فسفرسانس انتشار لومینسانس طول عمر بیشتر از 8 تا 10 ثانیه دارد. حد بالایی کارایی کوانتومی داخلی[[16]](#footnote-16) (IQE، نسبت تعداد فوتون­های تولید شده به تعداد بارهای تزریق شده) OLED ها با استفاده از ساطع کننده فلورسنت معمولی حدود 25٪ است. و حداکثر بازده کوانتومی خارجی[[17]](#footnote-17) (EQE) اینگونه افزاره­ها فقط به دلیل گیر افتادن در نور شدید می­تواند تقریباً به 5٪ برسد. IQE فسفرسنت OLED می­تواند با استفاده کامل از اکسیتون­ها به 100٪ برسد. در دهه­های اخیر، توسعه سریع انتشار دهنده­های فسفری باعث انقلابی در صنعت نمایش و روشنایی شده است. تاکنون، از ترکیبات فلزات واسطه فسفری متعددی برای ساخت OLEDهای بسیار کارآمد استفاده شده است؛ مس به دلیل کم هزینه بودن و سمی نبودن مورد توجه بسیاری از دانشمندان مواد قرار گرفته است. اما ترکیب­های Cu (I)، به عنوان یک کاندیدای ضعیف برای OLED در نظر گرفته می­شوند.

**3. تکامل OLED ها**

قبل از OLED، بسیاری از فناوری­های نمایش مانند لوله اشعه کاتد، دیودهای ساطع کننده نور غیرآلی، نمایشگرهای کریستال مایع و نمایشگرهای پلاسما در بازار نمایشگرها پیشرو بودند. تمام این نمایشگرها محدودیت­های خاص خود را دارند از جمله حجیم بودن، زاویه دیدکم، قابلیت تنظیم رنگ و غیره. ویژگی­های اصلی نمایشگرهای نسل حاضر عبارتند از کیفیت خوب، روشنایی، کنتراست، تغییر رنگ بهتر، وضوح بالا، وزن کم، کاهش ضخامت، کاهش هزینه و مصرف کم انرژی. تمام این موارد در یک فنآوری صفحه نمایش تخت جدید که بر روی افزاره­های مبتنی بر مواد آلی که معمولاً با نام OLED شناخته می­شوند پدیدار می­شوند .[4]از مزایای اصلی OLEDها می­توان به صفحه نمایش مسطح، سبک­تر، دارای سرعت انتشار زیاد و کار در ولتاژ بسیار کم و همچنین ساخت ساده اشاره کرد. OLEDها دارای زاویه دید عالی و پتانسیل مصرف برق بسیار کم نسبت به نمایشگرهای کریستال مایع با نور پس زمینه هستند.

**3-1. ساختار OLED**

ساختار OLEDهای مختلف در شکل 1 نشان داده شده است. یک OLED تک لایه از یک لایه آلی ساخته شده است که بین کاتد و آند قرار گرفته است. این لایه نه تنها باید از راندمان کوانتومی بالایی برخوردار باشد، بلکه لایه باید دارای خواص انتقال حفره و الکترون خوبی نیز باشد. در یک OLED دو لایه، یک لایه آلی به­طور خاص برای انتقال حفره­ها و لایه دیگر برای انتقال الکترون انتخاب می­شود. ترکیب مجدد جفت حفره-الکترون در ناحیه­ای بین دو لایه رخ می­دهد، که باعث ایجاد الکترولومینسانس می­شود. در یک OLED سه لایه، یک لایه اضافی بین لایه انتقال حفره و لایه انتقال الکترون قرار داده شده است. لایه ساطع کننده در درجه اول محل ترکیب مجدد حفره - الکترون و در نتیجه برای الکترولومینسانس است. این ساختار سلولی برای مواد گسیل­کننده که خاصیت حمل و نقل حامل بالایی ندارند مفید است. در یک OLED چند لایه، یک لایه تزریق الکترون نیز وجود دارد. معرفی ساختار افزاره چند لایه نشت حامل بار و همچنین خاموش شدن اکسیتون را برطرف می­کند، زیرا حالت­های برانگیخته معمولاً در رابط لایه آلی و فلز خاموش می­شوند. OLEDهای چند لایه از لایه­های مختلفی تشکیل شده­اند، یعنی صفحه شیشه­ای(ITO)، لایه تزریق حفره[[18]](#footnote-18)(HIL)، لایه انتقال حفره[[19]](#footnote-19)(HTL)، لایه ساطع کننده[[20]](#footnote-20)(EL)، لایه انتقال الکترون[[21]](#footnote-21) (ETL) و آند.



**شکل 1**

**ساختار OLED های مختلف. C = کاتد (معمولاً آلومینیوم) ؛ EL = لایه ساطع کننده ؛ ETL = لایه انتقال الکترون ؛ HTL = لایه انتقال حفره؛ HIL = لایه تزریق سوراخ ؛ A = مولکول های کوچک آند.**

بستر: معمولاً فویل پلاستیکی، شیشه­ای یا فلزی است که یک لایه شفاف و رسانا با عملکرد بالا است. [[22]](#footnote-22)

آند: یک الکترود شفاف برای تزریق حفره به لایه­های آلی است. این لایه باید دارای زبری کم و عملکرد بالا باشد.

لایه تزریق حفره (HIL): از مواد با تحرک بالا، ظرفیت انسداد الکترون و دمای انتقال شیشه بالا می­توان به عنوانHIL استفاده کرد.

لایه انتقال حفره (HTL): لایه انتقال حفره نقش مهمی در انتقال حفره­ها و مسدود کردن الکترون­ها دارد، بنابراین از رسیدن الکترون­ها به الکترود مقابل بدون ترکیب مجدد با حفره­ها جلوگیری می­کند.

لایه گسیل کننده(EL): لایه بین HTL و ETL یک ساطع کننده خوب فوتون­های قابل مشاهده است که به عنوان لایه گسیل کننده شناخته می­شود. این لایه می تواند ماده­ای ساخته شده از مولکول­های آلی یا پلیمرهایی با کارایی بالا، طول عمر و خلوص رنگ باشد.

لایه انتقال الکترون (ETL): این لایه باید از ویژگی­های انتقال الکترون و انسداد حفره برخوردار باشد.

کاتد: کاتد به­طور معمول یک آلیاژ فلزی با عملکرد کم است (ϕw ≈ 2.9-4.0 eV). کاتد الکترون­ها را به لایه­های ساطع کننده تزریق می­کند.

چیدمان تمام این لایه­ها بر روی بستر شیشه­ای ITO به دلیل حساسیت مواد به عوامل مختلف مانند درجه حرارت بالا، و نشست گرد و غبار بر روی لایه­ها در هنگام ساخت، نیازمند دقت بسیار بالایی است.

مواد مختلفی که به­طور کلی در لایه­های مختلف OLED استفاده می­شود، در جدول 1 آمده است.

**جدول 1**

|  |  |
| --- | --- |
| لایه­های OLED | موادی که در ساخته لایه­های OLED استفاده می­شود. |
| آند | عملکرد بالا:ITO,IZO,ZNO:TCP(PANI,PEDOT);Au,Pt,Ni,P-Si,ITO; رفع سطحی مشکل:پلاسما(O2,NH3): راه حل: (تیزاب سلطانی)؛ عایق نازکALOX,SiOX: RuOX(4.9 eV ):MoOX(5.4 eV ) |
| کاتد | عملکرد پایین: Mg:Ag:Li:Al:Ca:LiF:MgOx: |
| HIL | سطح HOMO؛ Spiro-TAD ؛ CuPc ؛ m-MTDATA ؛ PTCDA  2TNATA ؛ TPD ؛ NPD ؛ DPVBi ،. . . PPV ؛ PVK ؛ Dendrimer. |
| ETL | LUMO level; Alq3; Bebq2; PBD; OXD; TAZ; BCP |
| EML: Dopant | Alq3; CPB; Balq; DPVBi; Rubrene; Spiro DPVBi;  Quinacridone; Coumarin; DSA; Ir(ppy)3; Pt(OEP);  emitting assistant; rare earth complexes |

**3-2. انواع OLEDها**

دسته­بندی­های مختلف OLED یعنی OLED با ماتریس منفعل(PMOLED)، OLED با ماتریس فعال (AMOLED) ، OLED شفاف، OLED با گسیلش بالا، OLED با گسیلش پایین، OLED تاشو و OLED سفید به همراه مشخصات آن­ها در جدول 2 شرح داده شده است.

**جدول 2**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| فرمول بندی OLED ها | ساختار | مواد تشکیل دهنده | نوع انتشار | مصرف برق | هزینه | کاربرد |  |
| PMOLED | آند / لایه آلی / کاتد | آلی | - | زیاد | گران | برای صفحه نمایش کوچک و تلفن همراه | [5] |
| AMOLED | آند / لایه آلی / کاتد با ماتریس TFT | آلی | بالا | کم | ارزان | نمایشگر رایانه، صفحه بزرگ تلویزیون | [5] |
| OLED شفاف | بستر / آند / لایه رسانا / لایه انتشار / کاتد | آلی | از هر دو طرف | - | - | نمایشگرهای سر به بالا | [5] |
| بالاترین میزان انتشار OLED | بستر / آند / لایه رسانا / لایه انتشار / کاتد | آلی | بالا | - | - | - | [5] |
| پایین ترین میزان انتشار OLED | شیشه شفاف / TFT / ITO / لایه انتشار / کاتد | آلی | پایین | - | - | نمایشگرهای کوچکتر و همچنین بزرگتر | [5] |
| تاشو OLED | - | پلیمر | - | کم | ارزان | نمایشگرهای کوچکتر و همچنین بزرگتر | [5] |
| OLED سفید | - | تركيب­های متصل و فلزی ، رنگ­های آلی | - | - | - | نور پشت در OLEDها | [6] |

**3-3. نسل روشنایی تا OLEDها**

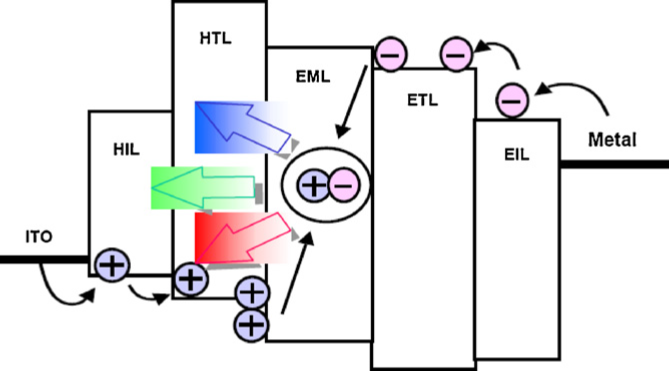
پیشبینی شده است که مصرف انرژی در سراسر جهان طی صد سال آینده به تغییرات اساسی در نحوه تولید و استفاده از انرژی نیاز دارد. سیستم­هایی که وظیفه آن­ها تولید نور سفید برای روشنایی است با نام روشنایی حالت جامد[[23]](#footnote-23) (SSL) شناخته می­شوند. اخیراً افزاره­های حالت جامد به بازده تبدیل توان الکتریکی به نوری 76٪ در طول موج­های مادون قرمز دست یافته­اند[7]. برخلاف روشنایی­های رشته­ای و فلورسنت، که فرآیندهای غیرمستقیم (برای گرم کردن یا تخلیه گاز) بازده را محدود می­کنند، هیچ مانع اساسی فیزیکی برای دستیابی به بازده­های مشابه (یا حتی بالاتر) برای نور سفید وجود ندارد. حتی اگر "فقط" بازده 50 درصدی SSL حاصل شود فناوری­های فعلی روشنایی سفید به­طور کامل جابجا شده و این تأثیر بسیار زیاد در روشنایی خواهد گذاشت و کل انرژی الکتریکی مصرفی تقریباً 13٪ کاهش می­یابد. همچنین صرفه­جویی در تولید انرژی که می­تواند توسط SSL امکان­پذیر شود تأثیر مهمی بر محیط زیست خواهد داشت. اگر ما بتوانیم با پرداختن به چالش­های علمی به­طور همزمان به عمر طولانی افزاره و بهره­وری بالای انرژی در افزاره برسیم، SSL مبتنی بر OLED می­تواند به یک نیروی اقتصادی قدرتمند و بزرگترین دستاورد فناوری در زمینه روشنایی تبدیل شود.

نوری که توسط ناحیه گسیل کننده آلی OLED تولید می­شود، می­تواند در (i) حالت­های خارجی، از طریق بستر در جهت مشاهده به جلو خارج شود؛ (ii) حالت­های هدایت موج بستر، که از سطح مشترک زیرلایه/هوا تا کاتد فلزی گسترش می­یابد؛ و (iii) حالت­های هدایت موج آلی، که در لایه­های آلی با ضریب شکست بالا محدود شده­اند. OLEDهای معمولی از نوع مسطح اجازه می­دهند تقریباً 20٪ از کل انتشار نور تولید شده در OLED از طریق حالت­های خارجی خارج شود و باعث ایجاد بازدهی نوری بسیار کم 20٪ می­شود. طرح­های مختلف نوری ثبت شده و یا گزارش شده است که ممکن است راندمان استخراج نور را به 30-40٪ مربوط به افزایش 50-100٪ افزایش دهد. این فناوری دارای یک طراحی نوری جدید برای استخراج کارآمد تمام حالت­های هدایت موج در OLED است و می تواند به­طور بالقوه منجر به بازده استخراج نور تا 80٪ شود. ساخت این مکانیزم افزایش استخراج نور با توان عملیاتی موجود سازگار است و هزینه کم فناوری­های چاپ به طور محسوسی عملکرد الکتریکی افزاره OLED اصلی را تغییر نمی دهد. برخلاف بسیاری از روش­های موجود، این فناوری نه طیف انتشار را تغییر می دهد و نه الگوی انتشار زاویه­ای را به میزان قابل توجهی تغییر می دهد. بنابراین می­توان آن را به راحتی در نمایشگرهای تمام رنگی موجود یا افزاره­های ساطع کننده نور سفید بدون تغییر قطعات الکترونیکی محرک گنجانید. با مناسب ساختن این فناوری برای نمایشگرهای تک رنگ یا تمام رنگ می­توان به وضوح به اندازه 20 میکرومتر رسید. کیفیت نور تولید شده توسط OLEDها را می­توان از سه پارامتر یعنی مختصات،[[24]](#footnote-24)CIE، شاخص ارائه رنگ [[25]](#footnote-25)(CRI) و درجه حرارت رنگ همبسته [[26]](#footnote-26)(CCT) ارزیابی کرد. رنگ نور ساطع شده از یک منبع روشنایی را می­توان با مختصات CIE مشخص کرد که چگونگی درک چشم انسان از رنگ انتشار هر منبع نوری (با طیف انتشار دلخواه) را با یک جفت دو عدد [x، y] در نمودار رنگی CIE سال 1931 توصیف می­کند.

**3-4. مکانیسم تابش نور از افزارهOLED**

افزاره­هایOLED چند لایه همانطور که از نامشان هم پیداست دارای چندین لایه هستند که هر لایه دارای خواص متفاوتي است. وقتی ولتاژ به OLED اعمال می­شود، در این افزاره جریان به وجود می­آید. سپس، کاتد به لایه گسیل کننده الکترون می­دهد و از آند حفره­هایی تزریق می­شود و در لایه گسیل کننده جفت اکسیتون ایجاد می­شود. هنگامی که بارهای جفت اکسیتون با هم ترکیب می­شوند، نور منتشر می­شود. رنگ نور به نوع مولکول آلی موجود در لایه گسیل­کننده بستگی دارد. رنگ انتشاري اساساً توسط اختلاف انرژی HOMO و LUMO ماده آلی ساطع کننده تعیین می­شود. شدت یا روشنایی نور به میزان جریان الکتریکی اعمال شده بستگی دارد. در نتیجه با تغییر این مواد فعال می­توان رنگ انتشار را در کل طیف مرئی تغییر داد. مکانیسم تابش نور از افزاره OLED در شکل 2 نشان داده شده است.

مقدار زیادی از نور ساطع شده از یک دیود ساطع کننده نور که در داخل ساختار نیمه­هادی به دام افتاده است، نتیجه مقدار زیاد ضریب شکست است. بازتاب کلي داخلی عامل اصلی راندمان حصول نور اندك است؛ در حالی که سهم سایر عوامل مهم در تلفات شامل جذب داخلی و مسدود کردن نور توسط كنتاكت­ها بروز خواهد كرد. ارزیابی شدت منابع نور با استفاده از یکی از تکنیک­های (i) رادیومتری و (ii) فوتومتری[8] انجام مي­گيرد.[9] Zhmakin روشی را برای افزایش استخراج نور از دیودهای ساطع کننده نور گزارش کرد.



**شکل 2**

**4.**  **فن­آوری­های ساخت هسته OLED**

افزاره­ها / نمایشگرهای OLED می­توانند به دو روش تولید شوند: تکنیک لایه­نشانی در خلا و تکنیک­های محلول که شامل روش پوشش دورانی، تکنیک جوهر افشان، قطعه ریختگی و ... است. لایه­نشانی در خلا روشی است که به­طور گسترده مورد استفاده قرار می­گیرد، اما به دلیل دستیابی به حالت خلا زیاد، زمان­بر بودن بسیار زیاد و لایه نشانی آن در مساحت زیاد این روش دشوار است. OLEDهای مبتنی بر لانتانید با لایه نشانی در خلا از لایه­های مختلف (لایه تزریق حفره، لایه ساطع کننده، لایه انتقال الکترون، کاتد) روی بستر ITO تهیه می­­شوند. این تکنیک فقط برای تركيب­های لانتانید سبک و با حرارت پایدار کاربرد دارد. متأسفانه، بیشتر تركيب­های سبک لانتانید – β دیکتونات، جزء آن دسته که بهترین خصوصیات لومینسانس را دارند، نیستند. بسیاری از تركيب­های β دیکتونات را نمی­توان بدون تجزیه حرارتی قابل توجیه تصدیق کرد، یا لایه­های نشانده شده با کیفیت پایین را ارائه داد. فیلم­های لانتانید – β دیکتونات که با لایه­نشانی در خلا تولید می­شوند، خاصیت حامل بار ضعیفی دارند. به­خصوص جابه­جایی الکترون­ها مشکل است و آن هم به دلیل تزریق و جابه­جایی نامتعادل حامل­های بار است، ترکیب مجدد اغلب در مکان­هایی غیر از لایه ساطع­کننده صورت می­گیرد. این امر نه تنها منجر به کارایی کم الکترولومینسنس می­شود، بلکه منجر به کاهش عمر OLED نیز می­گردد. این روش شامل لایه نشانی دسته­ای در خلا از لایه­های مواد آلی با مولکول کوچک بر روی صفحه محمل شیشه یا سیلیکون است. این فنآوری به خوبی اثبات شده است اما در حال حاضر فقط برای تولید انبوه نمایشگرهای کوچک یا متوسط تا حدود 15 اینچ مناسب است. ساخت نمایشگرهای بزرگتر به دلیل ساخت صفحه­های مشبک که برای (الگو) پیکسل­های صفحه نمایش استفاده می­شود، دشوار می­شود. در مقابل، تکنیک­های محلول کنتراست در حال حاضر کار آمدتر شده­اند زیرا زمان کمتری صرف لایه نشانی لایه­های نازک شده و لایه نازک قابل حمل در یک منطقه بزرگ مصرف می­شود. با این حال، علاقه به توسعه PLED به سرعت در حال افزایش است، زیرا فناوری­های تولید مبتنی بر راه حل چاپ - جوهر افشان، پوشش دورانی و غیره هستند و همچنین این روش نسبت به روش­های تبخیري رايج OLED ارزانتر است. مزیت بزرگ مواد ساطع کننده نور پلیمريPLED[[27]](#footnote-27) این است که آن­ها محلول هستند و می­توانند تحت شرایط محیطی روی یک لایه پلاستیکی شیشه­ای یا انعطاف­پذیر قرار بگیرند. فناوری پلیمر ساخت صفحه بزرگتر از، OLEDهای مولکول کوچک را امکان­پذیر می­کند، زیرا نیازی به صفحه مشبک مورد نیاز برای پردازش لایه نشانی در خلا نیست. نمایشگرهای PLED نیز در ولتاژ کمتری کار می­کنند و نسبت به آن­هایی که بر اساس مولکول­های کوچک ساخته شده­اند، بازده کمتری دارند. علاوه بر فناوری لایه نشانی در خلا، از فرایند محلول نیز می­توان برای تهیه EMLهای WOLED استفاده کرد .

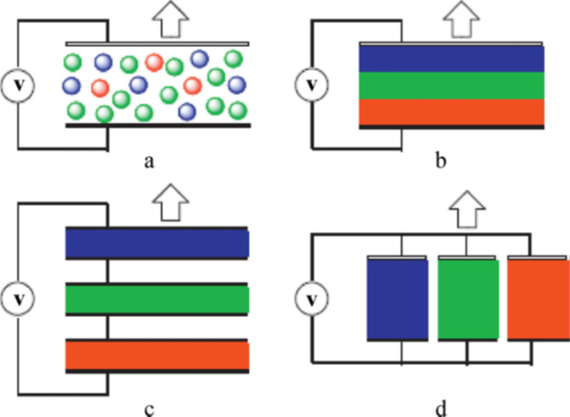
در مقایسه با لایه­نشانی در خلا، فرآیند محلول مزایای مختلفی به شرح زیر ارائه می­دهد:

روش ساخت مستقیم، پوشش سطح وسیع، مصرف کم انرژی، چاپ صفحه و لایه نشانی جوهر افشان و غیره. برای WOLEDهای تمام فسفری، یکی دیگر از امتیازات مرتبط با فرآیند راه حل، سهولت کنترل دقیق سطح دوپینگ برای هر فسفر، به ویژه برای تهیه EMLهای دوپینگ است. با این حال، WOLEDها با EMLهای پردازش شده از محلول­های ساطع کننده فسفری هستند که می­توانند به صورت جداگانه در لایه­های مختلف قرار بگیرند تا WOLED با پیکربندی چند EML ساخته شوند. علیرغم پیچیدگی در ساخت افزاره، WOLEDهای دارای چند EML به­عنوان یک بستر خوب با دامنه وسیع­تر برای بهینه­سازی افزاره عمل می­کنند. روند ساخت افزاره/ نمایشگرهای OLED از چندین مرحله تولید به شرح زیر عبور می­کند:

1. ساخت زیرلایه: اولین مرحله تولید بستر است که به­عنوان صفحه محمل نیز شناخته می­شود. در طول این مرحله، مدارهای ترانزیستور با لایه نازک که هر پیکسل را هدایت می­کنند، روی یک لایه شیشه­ای یا سیلیکونی قرار می­گیرند. لایه نشانی و الگوی آن در یک اتاق تمیز انجام می­شود و مشابه آنچه در ساخت مدارهای تركيب استفاده می­شود است. بسترها ممکن است از پلاستیک نیز ساخته شوند.
2. لایه نشانی OLED: مرحله بعدی ساخت قسمت OLED نمایشگر است. این مرحله شامل لایه نشانی لایه­های فعال نور ساطع شده توسط تکنیک­های لایه نشانی در خلا یا فرآیند مرطوب، بسته به نوع ماده OLED است. سرانجام، الکترود کاتد توسط خلا یا فرآیند کندوپاش لایه نشانی می­شود .
3. کپسوله سازی: برای محافظت از وسایل الکترونیکی و لایه فعال OLED در برابر قرار گرفتن در معرض بخار آب و اکسیژن، این قسمت­ها به صورت محکم در یک بسته محافظ مهر و موم می­شوند. این کار برای به حداکثر رساندن عملکرد و طول عمر صفحه نمایش ضروری است.
4. مونتاژ: در آخر، تمام قسمت­های نمایشگر برای ایجاد یک ماژول کامل مونتاژ می­شوند.

**OLED .5 های سفید**

دیودهای ساطع کننده نور آلی سفید[[28]](#footnote-28) به دلیل ویژگی­های کم هزینه بودن، داشتن بازده بالا و انعطاف­پذیری، برای نسل بعدی نمایشگرها و فناوری­های روشنایی حالت جامد مورد توجه قرار می­گیرند[10-16]. دیودهای ساطع­کننده نور پلیمری سفید تک لایه بر اساس ترکیب ایریدیوم (III) حاوی اسید پیکولیانیک آلکیل تری فلوئورن توسط Yafei Wang ساخته شده است[17]. دیودهای نورافشان سفید WLEDها بعلت داشتن ویژگی­های عالی مانند مصرف کم انرژی، طول عمر بسیار زیاد، دوام بالا و عاری از جیوه بودن، به­عنوان منبع روشنایی نسل سوم (3G) در نظر گرفته می­شوند[18-22]. برای بدست آوردن WLED با روشنایی بالا، به طور عمده از LED ساطع کننده آبی در ترکیب با فسفر زرد استفاده می­شود تا انتشار آبی را به نوری با طول موج­های بلند­تر تبدیل کند. OLEDهای سفید به عنوان گزینه­ای امیدوار کننده برای منابع روشنایی، باید نوری با توزیع طیفی مشابه تابش نور خورشید طبیعی که تا حد ممکن دامنه قابل مشاهده را تولید می­کند، ایجاد کنند. برای اهداف روشنایی، منابع نوری برای خلوص بهتر رنگ باید مختصات CIE را به نقطه سفید ایده­آل (0.33 ، 0.33) نزدیک کنند. تابش نور سفید معمولاً توسط مجموعه­ای از لومینوفورهای مختلف با رنگ­های انتشاری مشخص، به طور معمول دو رنگ (آبی و نارنجی/ زرد) یا سه رنگ (آبی ، سبز و قرمز) مشاهده می­شود. شکل 3 بیانگر راهبرد­های کلی است که تاکنون برای افزاره­ها جهت ترکیب چندین انتشار دهنده در EML و تولید نور سفید تدوین شده است.



**شکل3. رویکردهای کلی برای تولید نور سفید از OLED ها با استفاده از چند گسیل کننده.**

1. **ساختار تک EML ، (b) ساختار EML چند لایه . (c) ساختار انباشته و پشت سرهم و (d) ساختار راه راه.**

**5-1.WOLED از رنگ­های اصلی R-G-B**

سه رنگ اصلی فسفر (قرمز، آبی، سبز) را می­توان به ترتیب در یک یا چند لایه آلایش کرد و WOLED ای با تک و یا چند EML تشکیل داد. بنابراین، WOLEDهای تمام فسفری با انتشار دهنده­های R-G-B می­توانند به دو دسته اصلی تقسیم شوند.

**5-2.WOLED های تک EML با رنگ­های اصلی R-G-B**

ساختن WOLED با دوپینگ فسفرهای R-G-B به­صورت یک EML ساده است طوری­که می­توان با لایه نشانی در خلا یا استراتژی فرآیند محلول کم­ هزینه این نوع ازWOLED را به دست آورد. در هر دو مورد، باید توجه ویژه­ای شود تا از جداسازی فاز جلوگیری شود تا یک EML همگن تشکیل شود که به افزایش طول عمر افزاره کمک کند. آلایش سه ساطع کننده در یک لایه ممکن است فرآیندهای انتقال انرژی را از گسیل­کننده­های طول موج کوتاه به گسیل­کننده­های با طول موج بلندتر انتقال دهد، که با توجه به ولتاژ محرک یا روشنایی منجر به تغییر رنگ می­شود و بنابراین کیفیت نور سفید را خراب می­کند. به طور کلی، سطح آلایش برای فسفر آبی بسیار بالاتر از نمونه­های سبز و قرمز است و آن هم به منظور این است که نور R-G-B متعادل­تری در طیف EL سفید بدست آید.

**5-3. WOLEDهای چند EML با رنگ­های اصلی R-G-B**

در این حالت سه رنگ اصلی فسفر (قرمز، آبی، سبز) به عنوان لایه­های جداگانه آلاییده می­شوند تا WOLED تشکیل شود.

**5-4. WOLEDهای ساخته شده از رنگ­های مکمل B-O**

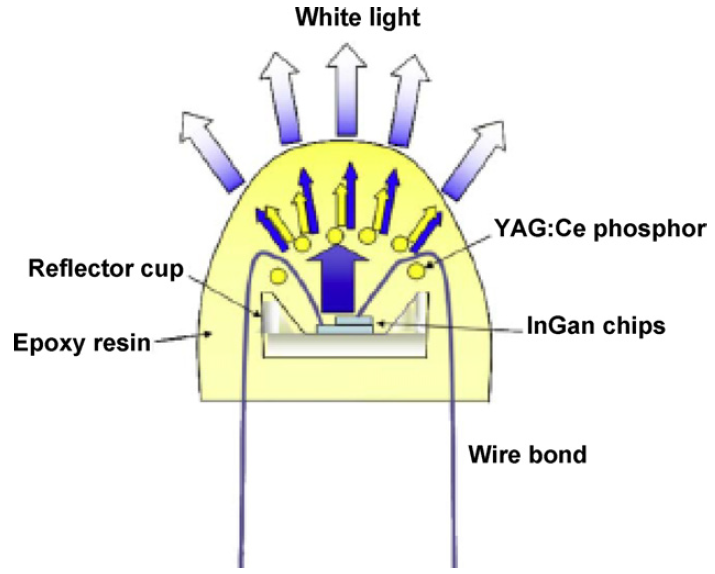
علاوه بر ساطع­کننده­های فسفر R-G-B، فسفرهایی که رنگ­های مکمل مانند آبی (B) و نارنجی (O) را نشان می­دهند نیز می­توانند برای تولید نور سفید در افزاره­ها استفاده شوند. با کاهش تعداد فسفرهای استفاده شده، می­توان روند ساخت افزاره را به طور کلی ساده کرد. به دلیل نبود فسفر ساطع­کننده سبز، CRI معمولاً برای نور سفید ساطع شده از WOLEDها با رنگ­های مکمل B-O متعادل شده است. WOLEDها به دلیل پیکربندی نسبتاً ساده­ای که دارند، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب می­کنند زیرا ساخت این افزاره ساده است و فرآیند تعدد در فسفرهای استفاده شده را کاهش می­دهد.

**5-5. WOLEDهای تک EML با رنگ­های مکمل B-O**

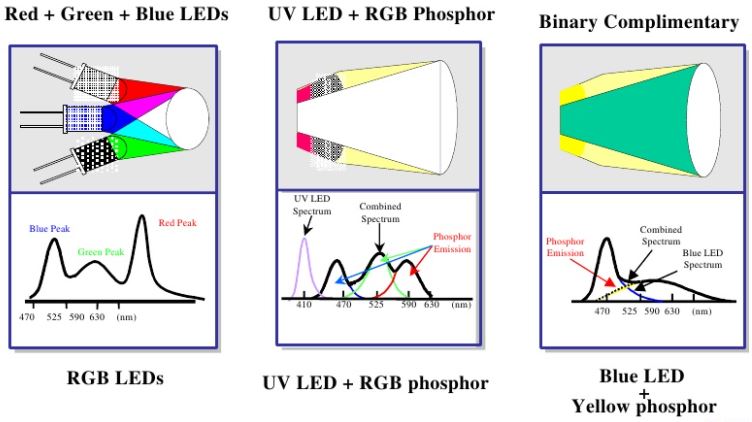
مانند W-OLEDهای تک R-G-EML، فسفرهای موجود در پیکربندی رنگ مکمل B-O را می­توان در هر دو میزبان مولکولی پلیمری یا کوچک قرار داد تا EML با فرآیند محلول یا لایه­نشینی در خلا ایجاد شود. به همین ترتیب، سطح دوپینگ فسفرها نیز باید به دقت کنترل شود تا طیف EL مطلوب سفید بدست آید. اخیراً، وو و همکاران یک سری از WOLEDهای ساده با محلول پردازش شده را با دوپینگ دو فسفر از رنگ­های مکمل در یک میزبان PVK آلایش شده با OXD-7 تهیه کرده تا بازده EL بسیار بالایی داشته باشد .[23]وانگ و همکارانش با ترکیب نشر دهنده آبی Firpic و نارنجی (fbi) 2Ir (acac) WOLED ای با عملکرد بالا و تک EML توسط لایه نشانی در خلا تهیه کرده اند .[24]با آلایش هر یک از دو فسفر که B-O مکمل دارند، رنگ را به EMLهای مختلف تبدیل می­کند و WOLED با چند EML ساخته می­شود. (الف) ساختار تک EML، (ب) ساختار EML چند لایه، ج) ساختار انباشته و پشت سرهم و (د) ساختار راه راه در شکل 3 نشان داده شده است.

**5-6. WOLED چند EML با رنگ مکمل B-O**

با دوپینگ هر یک از دو فسفری که رنگ­های مکمل B-O را در EML­های مختلف به نمایش می­گذارند، می­توان WOLED با چند EML ساخت. این ممکن است در مقایسه با محصولات WOLEDهای تک EML ساخت افزاره نسبتاً پیچیده­تری داشته باشند، اما افزاره­های دو EML می­توانند انعطاف پذیری بیشتری را برای بهبود عملکرد EL از طریق بهینه سازی دقیق هر تک EML ارائه دهند. یو و همکاران WOLEDهای EML دوتایی را توسعه داده اند که از فسفر آبی Fir-pic و یک ساطع کننده نارنجی عملکردی Ir (DPA-Flpy) 3 ارائه می­شود که از ویژگی­های خوب HI / HT برخوردار است .[25]ولتاژ آستانه افزاره 4.2 ولت است و روشنایی می­تواند در 10 ولت به cd / m2 3200 برسد. شماتیک دیودهای ساطع کننده نور سفید تبدیل شده به فسفر (pc-WLED) در شکل 4 نشان داده شده است[19]. شکل 5 سه روش مختلف برای تولید نور سفید از LED ها را نشان می­دهد.



**شکل 4 -شماتیک دیودهای ساطع کننده نور سفید تبدیل شده به فسفر است.**

****

**شکل 5 -سه روش تولید نور سفید از LED ها: (الف) قرمز + سبز + آبی-LED ، (ب) UV-LED + فسفر RGB و (ج) آبی-LED + فسفر زرد.**

**6. چالش­های کلیدی در OLEDها**

با وجود پیشرفت در دهه گذشته و اولین نمایشگرها در بازار، هنوز موانع عمده­ای وجود دارد که باید برطرف شود تا نمایشگرهای آلی EL در مقایسه با سایر فنآوری­های FPD منحصر به فرد شوند. این چالش­ها را می­توان به چهار دسته تقسیم کرد:

**1-6. مسئله جنس مواد مورد استفاده**

این مسائل شامل در دسترس بودن مواد با خلوص بالاتر (هم برای مولکول­های کوچک و هم برای آلاینده­های پلیمری) ، ضرورت کارایی بیشتر و طول عمر بیشتر برای مواد ساطع کننده قرمز و آبی، بهبود مداوم پایداری حرارتی مواد و نیاز به رنگ­های اشباع­تر به هنجارهای NTSC [[29]](#footnote-29)می­باشد همچنین تکنیک­های اصلاح صفحه مشبک در ناحیه بزرگ برای مولکول­های کوچک هم شامل این موارد می­شود.

**2-6. تکنیک­های الگو سازی**

تکنیک­های الگوسازی به وضوح تا 50 میکرومتر نیاز دارند. به­طور همزمان صفحه­ها نباید به هیچ یک از لایه­های زیرین آسیب برسانند و باید به­راحتی حفظ و تمیز شوند. متناوباً، روش چاپ جوهر افشان برای دستیابی به ضریب پر شدن پیکسل بالاتر، نیاز به پیشرفت­های بیشتری دارد.

**3-6. مدارهای محرک**

برای نمایشگرهای OLED با استفاده از ماتریس غیرفعال، باید در مدارهای درایور کاهش قدرت ایجاد شود. برای نمایش اطلاعات با حجم بالاتر، مدارهای محرک ماتریس فعال با ترانزیستورهای فیلم نازک (TFT) جداگانه برای سوئیچینگ و کنترل جریان (به­عنوان مثال حداقل دو TFT برای هر پیکسل OLED) مورد نیاز است. با این وجود، جریان بالاتر مورد نیاز، استفاده از TFTهای پلی سیلیکونی را ضروری می­کند.

**4-6. مسائل پردازش و ساخت**

از نظر ساخت، روش­های پردازشی که خروجی آن­ها زیاد بوده و از تجهیزات کم هزینه استفاده می­کنند، پیش نیاز هستند. در طول ساخت افزاره، یک کنترلگر دقیق آلودگی ضروری است، به خصوص برای هدایت ذرات، که از ایجاد رطوبت جلوگیری کند. ویژگی­هایی مانند کنتراست بالای پیکسل به پیکسل، روشنایی قابل دستیابی بالا در ولتاژ پایین، مصرف کم انرژی، زاویه دید گسترده، همراه با قابلیت­های قدرت تفکیک پذیری بالا، آن­ها را گزینه­های مناسبی برای جایگزینی فنآوری­های فعلی FPD مانند VFD و LCD ها می­کند. در مقایسه با مراحل اولیه فنآوری LCD فعلی، OLED این مزیت بزرگ را دارد که می­تواند از تجربیات موجود در فناوری پردازش LCD استفاده کامل کند. علاوه بر این، توانایی ساخت OLED بر روی لایه­های قابل انعطاف و خمش از اشکال دلخواه، آنها را در مقایسه با سایر فناوری­های FPD منحصر به فرد می­کند.

**7. نتیجه گیری**

بررسی در مورد OLEDها و مواد آن نشان می­دهد که راندمان تبدیل الکتریسیته به نور، پایداری و طول عمر افزاره، به ویژه رنگ آبی، انتخاب و بهینه­سازی مواد، کپسوله­سازی برای جلوگیری از ورود آب، اکسیژن و هرگونه واکنش شیمیایی به افزاره، یکنواختی در یک سطح وسیع، هزینه ساخت، به خصوص برای مساحت زیاد، الگوی ریز، کنتراست، تعویض پیکسل و اشباع رنگ چالش­های پیش رو برای رقابت با سیستم روشنایی فعلی با OLEDهای سازگار با محیط زیست است. در سطح جهانی تلاش­های قابل توجهی در زمینه تولید و ساخت تركيب­ها و افزاره­های ساطع کننده قرمز، سبز و آبی صورت گرفته است. با این حال، برای به دست آوردن بخش عمده­ای از بازار صفحه نمایش تخت، بهبود بیشتری در کارایی لازم خواهد بود. OLED می­توانند همان سطح درخشندگی را در ولتاژ و جریان بسیار پایین­تر حفظ کنند و به­طور قابل توجهی مصرف انرژی و هزینه­های بهره برداری را کاهش دهند. کاهش نیاز به انرژی باعث افزایش طول عمر OLED به بیش از چهار برابر می­شو که موجب می شود این افزاره­ها در پیش­بینی­های طولانی مدت مقرون به صرفه باشند. افزایش چهار برابری در بهره­برداری از نور بر کارایی داخلی تأثیر نمی­گذارد، بلکه به OLED اجازه می­دهد تا سطح کارایی داخلی بسیار بالا را حفظ کرده و در عین حال کارایی خارجی را بهبود بخشد. این مکانیسم استخراج نور می­تواند در فرآیندهای تولید فعلی گنجانده شود و با استفاده از زمان موجود، در وقت و هزینه صرفه جویی کند. تکنیک­های ساخت افزاره باعث کاهش مصرف انرژی می­شود و به طور قابل توجهی اثرات زیست محیطی استفاده از OLED را کاهش می­دهد. برای رقابت با LCDها، هر دو مولکول کوچک OLED و فناوری­های پلیمری باید از وضوح بالا و رنگ کامل با هزینه­های تولید بسیار رقابتی استفاده کنند. اخیراً یک فرآیند تولید که لایه نشانی RGB (قرمز-سبز-آبی) را با وضوح بالا امکان­پذیر می­کند، با استفاده از یک روش فوتولیتوگرافی توسعه یافته است. این فرآیند از کلاس جدیدی از پلیمرهای الکترولومینس بهره می­برد که می­توانند توسط نور ماورا بنفش پوشش داده شده و چرخانده شوند، اما خصوصیات الکتریکی و نوری آن­ها را حفظ می­کند. و این همراه با یک روند الگویی ساده ، امکان ایجاد نمایشگرهای ماتریس پیکسلی با وضوح بالا را فراهم می­کند. این فناوری جدید تولید بر محدودیت­های وضوح در تکنیک­های ساخت قبلی مانند لایه­نشانی جوهر افشان غلبه می­کند. در عوض، از فوتولیتوگرافی استانداردی استفاده می­کند که در تولید انبوه بسیاری از اجزای الکترونیکی مانند فیلترهای رنگی برای نمایشگرهای LCD کاملاً تثبیت شده است. و بدین طریق هنگامی که کاملاً تجاری شد، تضمین می­کند که عملکرد بالا و هزینه­های رقابتی کمتر PLED را با وضوح بالاتر ترکیب کند. شاید مهیج­ترین پیشرفت آینده که می­توان انتظار آن را داشت، صفحه نمایش انعطاف پذیر "تمام پلاستیکی" است؛ یک صفحه نمایش OLED که یک لایه پلاستیکی را با الکترونیک پلیمر آلی ترکیب می­کند.

**8. مراجع**

[1] Schulz, Christof, et al. "Laser-induced incandescence: recent trends and current questions." *Applied Physics B* 83.3 (2006): 333-354.

[2] Ronda, Cornelis R., ed. *Luminescence: from theory to applications*. John Wiley & Sons, 2007.

[3] Vij, D. R., ed. *Luminescence of solids*. Springer Science & Business Media, 2012.

[4] Wakimoto T, Murayama R, Nagayama K, Okuda Y, Nakada H, Tohma T. SID IntSymp Digest 1996;849.

[5] <http://electronics.howstuffworks.com>.

[6] Kido J, Ikeda W, Kaimura M, Nagai K. Jpn J Appl Phys 1996; 35: L394.

[7] Peters MG, High power, high efficiency diode lasers at JDSU, Talk PTuC3, Program of the conference on lasers and electro-optics conference, May 21–26; 2006. p. 14, <http://www.cleoconference.org/materials/CLEO06TuesdayWeb5.pdf>

[8] Ohno Y. Optical metrology for LEDs and solid state lighting. Proc SPIE 2006; 6046:604625.

[9] Zhmakin AI. Phys Rep 2011; 498:189–241.

[10] Seo JH, Lee SJ, Seo BM, Moon SJ, Lee KH, Park JK. Org Electron, 2010; 11:1759–66.

[11] D’Andrade BW, Forrest SR. Adv Mater 2004;16:1585–95.

[12] Seo JH, Park JH, Kim YK, Kim JH, Hyung GW, Lee KH. Appl Phys Lett, 2007;90(203):507–9.

[13] Yook KS, Lee JY. Appl Phys Lett 2008;92(193):308–10.

[14] Tong QX, Lai SL, Chan MY, Tang JX, Kwong HL, Lee CS. Appl Phys Lett, 2007;91(023):503–5.

[15] Ho MH, Hsu SF, Ma JW, Hwang SW, Yeh PC, Chen CH. Appl Phys Lett2007;91:113518

[16] Sun Y, Forrest SR. Appl Phys Lett 2007;91(263):503–5.

[17] Wang Y, Liu Y, Zhang Z, Luo J, Shi D, Tan H, et al. Dyes Pigments, 2011; 91:495–500.

[18] Pimputkar S, Speck JS, Den Baars SP, Nakamura S. Nat Photon 2009;3:180–5.

[19] Ye S, Xiao F, Pan YX, Ma YY, Zhang QY. Mater Sci Eng R 2010; 71:1–34.

[20] Murata T, Tanoue T, Iwasaki M, MorinagaK, Hase T. J Lumin 2005;114:207–12.

[21] Smet PF, Korthout K, Van Haecke JE, Poelman D. Mater Sci Eng B, 2008; 146:264–80.

[22] Ju G, Hun Y, Chen L, Wang X, Mu Z, Wu H, et al. Opt Laser Technol, 2012; 44:39–42.

[23] Wu H, Zhou G, Zou J, Ho C-L, Wong W-Y, Yang W, et al. Adv Mater, 2009; 21:4181.

[24] Wang Q, Ding JQ, Ma DG, Cheng YX, Wang LX, Jing XB, et al. Adv Funct, Mater2009;19:84.

[25] Yu XM, Kwok HS, Wong W-Y, Zhou GJ. Chem Mater 2006; 18:5097.

1. **Corresponding Author:** [Fateme.noroozian78.com@gmail.com](mailto:Fateme.noroozian78.com@gmail.com) [↑](#footnote-ref-1)
2. **Organic Light Emitting Diode** [↑](#footnote-ref-2)
3. **transparent conductive electrones** [↑](#footnote-ref-3)
4. **Indium Tin Oxide** [↑](#footnote-ref-4)
5. **incandescence** [↑](#footnote-ref-5)
6. **luminescence** [↑](#footnote-ref-6)
7. **Chemiluminescence** [↑](#footnote-ref-7)
8. **Bioluminescence** [↑](#footnote-ref-8)
9. **luciferin** [↑](#footnote-ref-9)
10. **luciferase** [↑](#footnote-ref-10)
11. **Electroluminescence** [↑](#footnote-ref-11)
12. **Dielectric Breakdown** [↑](#footnote-ref-12)
13. **Triboluminescence** [↑](#footnote-ref-13)
14. **Mechanical Stress** [↑](#footnote-ref-14)
15. **Recombination** [↑](#footnote-ref-15)
16. **Internal quantum efficiency** [↑](#footnote-ref-16)
17. **External quantum efficiency** [↑](#footnote-ref-17)
18. **Hole injection layer** [↑](#footnote-ref-18)
19. **Hole transport layer** [↑](#footnote-ref-19)
20. **Emitting layer** [↑](#footnote-ref-20)
21. **Electron transport layer** [↑](#footnote-ref-21)
22. **ϕw ≈ 4.7-4.9 EV** [↑](#footnote-ref-22)
23. **solid-state lighting** [↑](#footnote-ref-23)
24. **گروهی مشورتی بین المللی که غالب استانداردهای اساسی مربوط به رنگ و نور در سیستم­های تلویزیون رنگی را وضع کرده است** [↑](#footnote-ref-24)
25. **Color rendering index** [↑](#footnote-ref-25)
26. **Correlated Color Temperature** [↑](#footnote-ref-26)
27. **polymer light-emitting diode** [↑](#footnote-ref-27)
28. **White Organic Light Emitting Diode** [↑](#footnote-ref-28)
29. کمیته استاندارد تلویزیون ملی [↑](#footnote-ref-29)