بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
12-14بهمن 1400

بهبود ضریب کیفیت و کاهش پهنای نوار طیف در میکروکاواک دیود نورگسیل آلی توسط آیینه های براگ

طاهره دیریکوند t.dirikvand@smi.iaun.ac.ir ، مهدی زادسر zadsar@iaun.ac.ir و
مینا نقابی neghabi@iaun.ac.ir

دانشگاه نجف آباد-دانشکده برق-گروه فیزیک

چکیده - در این کار طراحی و ساخت میکروکاواک دیود نور گسیل آلی سبز با بکارگیری ترکیبی از آینه بالایی الکترود- آلومینیوم و آیینه پایین بازتابنده توزیع شده براگ (DBR) به منظور افزایش ضریب کیفیت (بیشتر از 51) به همراه بازتابندگی بالا و خواص الکتریکی بهینه مورد نظر قرار گرفت. نتایج تجربی افزایش قابل‌توجه شـــدت الکترولومینســـانس (EL) همچنین کاهش عرض طیفی در نیم بیشـــینه را نشـــان داد. در نهایت ، پارامترهایی که فاکتور کیفیت را محدود می کرد ، تجزیه و تحلیل کرده و راه برای پیشرفت های آینده هموارگردید، رویکرد پیشنهاد شده می تواند برای تولید منابع جدید نوری مورد استفاده قرار گیرد و یک گام مهم در جهت تحقق لیزرهای آلی شود.

کلید واژه- اکسیتون، دیود نورگسیل آلی،میکروکاواک،ویژگیهای اپتیکی.

Impeovement of quality factor and reduction of spectral bandwidth of microcavity OLED by Bragg mirrors

Tahereh Dirikvand [1] t.dirikvand@smi.iaun.ac.ir, Mehdi Zadsar [2] zadsar@iaun.ac.ir, and
Mina Neghabi neghabi@iaun.ac.ir

Abstract- In this work, the design and fabrication of a green microcavity OLED by Al-electrode layer as a top mirror and a Distributed Bragg Reflector (DBR) bottom mirror in order to enhance quality factor(more than51) with high reflectivity and optimal electrical properties was considered.The experimental results show a substantial enhancement of the electroluminescence (EL) intensity as well as a reduction of the spectral width at a half maximum. Finally, we analysed the parameters that still limit the Q-factor, paving the way for future improvements. The proposed approach can be exploited for the fabrication of novel organic light sources for represents an important step towards the realization of organic lasers .

Keywords: Exiton, Organic Light Emitting Diod , Microcavity, Optical properties

مقدمه

دیودهای نورگسیل آلی (OLEDs)[1] جریان الکتریکی را به نور تبدیل می کنند [۱]. از دیدگاه اپتیکی، بخشی از نور حاصل از بازترکیب اکسیتون ها در ناحیه فعال، در فصل مشترک لایه ها و به ویژه در ناحیه تماس الکترودها دچار بازتاب به درون ساختار می شود و مانده ی آن از قسمت شفاف دیود به محیط بیرون گسیل می‌شود آنچه که در مورد بازتابش درونی این ساختارها مطرح است ، درصد این بازتاب ها نسبت به نور عبوری است. به عبارتی، کیفیت نور در آنهاپایین است. ازیک سو همین بازتابش‌های چندگانه به درون ساختار، عاملی برای خاموشی اکسیتون ها وکاهش نور خروجی می شود. رفتار این دوقطبی اگر در یک رزوناتور اپتیکی مانند فابری‌پرو تعبیه‌شود اصلاح می شود[۲].بنابراین در یک طراحی دقیق، دیود نور گسیل آلی را در یک چیدمان میکروکاواک میان دو بازتابشگر قرار دادیم نورخروجی دارای ویژگی‌های اپتیکی‌یکتا نسبت به دیودهای‌آلی مرسوم شد در این مقاله جنبه‌های ساخت‌دستگاه بر مبنای مفهوم تبادل انرژی رزونانس بین فوتون‌هاواکسیتون ها، همچنین فیزیک حاکم بر دستگاه، پایه گذاری شده است. انتخاب نیمه‌هادی های‌آلی با ضخامتهای مناسب‌در یک میکروکاواک و نحوه ساخت و طراحی آن از اهداف این پروژه بوده است. در چیدمان انجام گرفته، به‌کارگیری آلومینیوم به‌عنوان آیینه بالایی‌و بازتابشگرهای توزیع شده‌ی براگ (DBR)[2] به عنوان الکترودپایینی‌درنظرگرفته شد. ساختار DBRدر واقع چیدمان دوره‌ای از فیلم های نازک با ضخامت اپتیکی چارک موجی است که از مواد دی الکتریک با ضریب شکست بالا و پایین می باشد. هنگامی که نور در فصل مشترک میان دوماده دی الکتریک مختلف فرود می‌آید، تطابق ضریب شکست موجب بازتابش بالای نور می شود. بطور خلاصه مراحل کار این پروژه شامل ساخت دیود نورگسیل سبز به روش تبخیر فیزیکی به عنوان مرجع کار، ساخت آیینه های براگ، ساخت‌میکروکاواک‌دیودنورگسیل‌با ضخامتهای ۲۴۰نانومتر و۲۱۰نانومتر با زوایای مختلف‌آشکارسازی طیف گسیل شده و در نهایت مقایسه نتایج این سه نمونه است.

مبانی نظری

برای یک میکروکاواک دیود نورگسیل به طول L طول موج های تشدید شده در کاواک از رابطهٔ (1) به دست می آیند

$$L = {m\lambda}/{2n} \qquad (1)$$

که m عدد صحیح، n ضریب شکست ناحیه فعال، L طول کاواک‌است.درضمن، برای‌ایجادتشدیدپایدار در داخل کاواک، باید شرایط‌موج ایستاده را برآوردکرد،که نیاز به قراردادن منطقه ساطع کننده در موقعیت میانی‌کاواک درطول موج رزونانس است‌امواج‌الکترومغناطیسی می توانند در داخل میکروکاواک به شکل امواج ایستاده به دام بیافتند و مجموعه ای از حالت های نوری را تشکیل دهند. معمولا یک حالت واحد درکاواک انتخاب می‌شود معادله(2) طول موج های مجاز در کاواک را می دهد:

[1] Organic Light-Emitting Diodes

[2]Distributed-Bragg-Reflectors

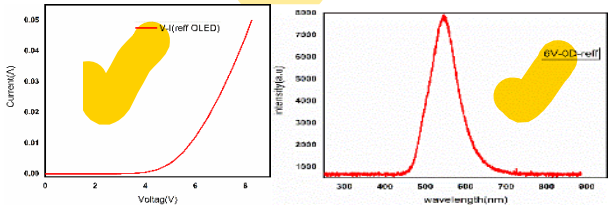
$$\lambda_C = \frac{2nL_C}{m} Cos\ \theta int \qquad (2)$$

در اینجا n ضریب شکست داخل کاواک، L_C فاصله آیینه ها، mعدد صحیح و θint زاویه بردار تابع موج (k) است. احتمال انتشارفوتون درکاواک به فاکتورپورسل نیز بستگی دارد که در آن ($F=Q.\lambda^3/v$) که Q فاکتورکیفیت ($Q= \lambda/\Delta\lambda$) V حجم کاواک وλ طول‌موج است. اثر پورسل در میکروکاواک طول عمر اکسیتون را کاهش می‌دهد بنابراین میزان انتشار خود به خودی و بهره افزایش می یابد که نقش مهمی در هدایت فوتون ها دارد و به کاهش آستانه کاواک کمک می کند.

شرح آزمایش و نتایج

۱-ساخت دیود نور گسیل آلی سبز:

در این پژوهش دیود نور گسیل سبز با ساختار ITO/MoO_3(5nm)/MoO_3:NPB(190nm)/NPB(10nm)/Alq3 (35nm)/BCP(5nm)/Lif(0.7nm)/AL(200nm) به‌عنوان مرجع کار ساخته شد که عملیات شامل مراحل زیر می باشد: پس از تمیز کردن زیرلایه ها و خشک کردن با گاز نیتروژن یک لایه تزریق حفره[3](MoO_3)،لایه‌انتقال حفره[4](NPB)،لایه سد کننده‌ی‌حفره[5](BCP) و[6](Alq_3) لایه‌گسیلنده در نظر گرفته شد. لایه [7] (Lif) و آلومینیوم نیز به عنوان کاتد رسوب داده شد.تمام‌اکسیدها توسط‌روش تبخیرفیزیکی در محفظه ی خلاء با فشار 10^{-5} تحت یک محیط غیر فعال رشد داده شدند تا در دمای اتاق از آسیب در لایه های آلی ولایه های پایین جلوگیری شود. ادوات نوری و ضخامت مواد مورد استفاده با استفاده‌از نرم‌افزار Macleod شبیه‌سازی‌شدند. منحنی ولتاژ-جریان و شدت‌طیف که توسط بیناب‌سنج jaz ساخت ocean optic اندازه گیری شد رادر شکل ۱مشاهده می کنید.



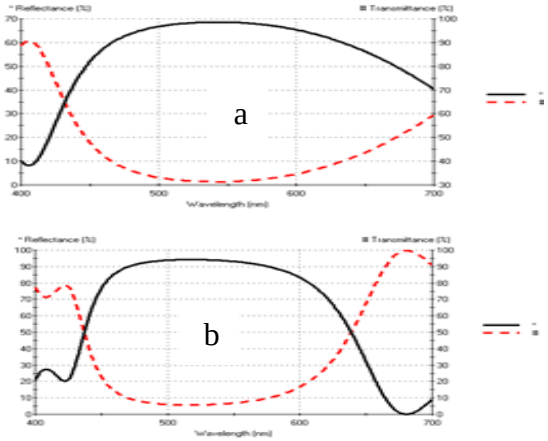
شکل ۱: نمودار ولتاژ-جریان، شدت انتشار اولد مرجع.

همانطور که مشخص است طیف گسیلی در ولتاژ ۶ ولت در طول موج۵۴۵/۹ نانومتر دارای بیشینه و کمترین عرض خط(۸۳/۶۶ نانومتر) می باشد.

۲-ساخت آیینه های براگ: با انتخاب جفت لایه‌های مناسب فیلم های TiO_2 /SiO_2 ساختار DBR با بازتابندگی بالا و شرایط لایه نشانی مناسب‌و مورفولوژی سطح یکنواخت را برای آنها فراهم کرده و سپس ITO را به عنوان لایه رسانای شفاف برروی‌DBRکه‌رسانایی‌و شفافیت مناسبی برای‌وسیله اپتوالکتریکی ایجاد می کند[۴]، به روش کندوپاش پوشش دادیم. در انتها تاثیر ضخامت لایه ها بر مقاومت الکتریکی ، همواری سطوح و انتقال‌نور را شبیه‌سازی کردیم. نتایج نشان داد عملکرد الکترومغناطیسی آینه DBR با ۵جفت لایه ی TiO_2وSiO_2، با ضرایب شکست پایین و بالا به همراه

[3] molybdenum trioxide
[4] N,Nº-diphenyl-N,Nº-bis(1-naphthyl)-1,1º-biphenyl-4,4/-diamine
[5] Bathocuproine
[6] tris(8-hydroxyquinoline) aluminum
[7] Lithium fluoride

الکترود ITO بهبودمی یابد. شکل۲مقایسه شبیه سازی ۳ جفت (a)و ۵جفت(b)لایه‌ی دی‌الکتریک‌را نشان می دهد.

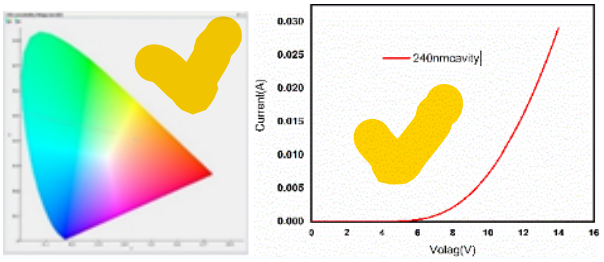


شکل۲: مقایسه۳ جفت دی الکتریک(a) و ۵ جفت دی الکتریک (b)

همانطورکه ملاحظه می‌شود با افزایش تعداد لایه‌های آیینه، منطقه انتشار نور، بازتاب و عبور مناسبی پیدا می کند.

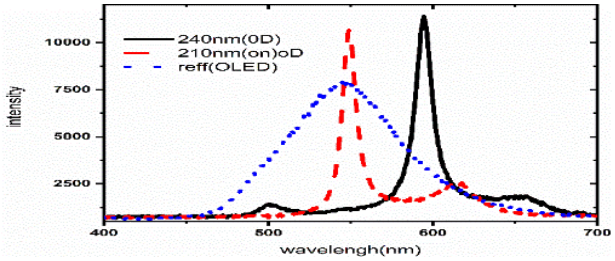
۳- ساخت میکروکاواک دیود نور گسیل سبز

ضخامت هر لایه توسط نرم افزار برای ایجاد یک‌نوارتوقف مناسب شبیه سازی شد. ساختار میکروکاواک توسط آیینه پایین DBR /ITO،مواد آلی روی آن ولایه Lif/AL به عنوان آیینه بالایی لایه نشانی شدند. نمودار ولتاژ جریان و رنگ نور ساطع شده ازمیکروکاواک با ضخامت ۲۴۰ نانومتر رادر شکل۳مشاهده می کنید.



شکل 3: نمودار ولتاژ جریان و رنگ نور از میکروکاواک240 نانومتر

میکروکاواک با ضخامت ۲۱۰نانومتر با هدف قرارگیری پیک طیف در محدوده ی نور سبز نیز ساخته‌شد. مقایسه‌ی فاکتور کیفیت‌سه نمونه A: اولدمرجع B : میکروکاواک‌اولد 240nm و C:میکروکاواک‌اولد 210nmرا در شکل۴ و جدول ۱مشاهده می‌کنید:



شکل ۴: مقایسه ی فاکتور کیفیت هرسه نمونه A :اولد مرجع ، B :میکروکاواک اولد 240nm وC: میکروکاواک 210nm با پیک اوج در طول موج ۵۵۵ نانومتر

جدول 1 مقایسه نتایج سه نمونهA,B,C

	قله	پهنای نیم بیشینه	عرض خط	فاکتور کیفیت
A: OLED	۵۴۵/۹	۷۲۹۵۲/۴۲	۱۰۲/۵۸	۶/۳۰
B: (240nm)	۵۹۴/۵	۸۴۵۵/۷۸	۱۴/۲۰	۴۲/۵۰
C: (210nm)	۵۵۵/۵	۶۶۶۳/۱	۱۰/۹۳	۵۱/۰۱

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به دست آمده ساختار میکروکاواک OLED دارای کاهش عرض‌طیف‌انتشار(۱۰/۹۳) و افزایش فاکتورکیفیت حدود۹ برابری(۵۱/۰۱) نسبت به نمونه بدون کاواک(A) شد که گام مهمی برای بهینه شدن طیف الکترولومینسانس وکارایی قابل توجه آن دارد.از کاربردهای این طرح در صفحه نمایش OLED تولید شرکت صنایع الکترواپتیک صاایران است که نه مشابه داخلی دارد و نه امکان تهیه و تامین از منابع خارجی به راحتی میسر است.

مرجع‌ها

[1] Genco, A., et al., *High quality factor microcavity OLED employing metal-free electrically active Bragg mirrors*. Organic Electronics, 2018. 62: p. 174-180.

[2] Im, J.H., et al., *Strong microcavity effects in hybrid quantum dot/blue organic lightemitting diodes using Ag based electrode*. Journal of Luminescence, 2018. 203: p. 540-545.

[3] Christogiannis, Nikolaos. "*Organic Microcavities and OLEDs*." PhD diss., University of Sheffield, 2016

[4] S. Meister, R. Brückner, M. Sudzius, H. Fröb, K. Leo, *Optically pumped lasing of an electrically active hybrid OLED-microcavity*, Appl. Phys. Lett. 112 (2018) 113301. doi:10.1063/1.5016244