بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

بررسی تاثیر نانومیله‌های نقره بر طول موج گسیل OLED

فاطمه عباسی، سید محمدباقر قرشی*

گروه لیزر و فوتونیک دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان، کاشان

Email: 1. abbasifatemeh210870@gmail.com

2. mghorashi@kashanu.ac.ir

چکیده - فلزات نجیب، به ویژه نانوساختارهای نقره و طلا، از نظر تشدید پلاسمون سطحی دارای ویژگی‌های نوری منحصر به فرد و قابل تنظیم هستند. در این تحقیق، تأثیر نانومیله‌های نقره بر راندمان استخراج نور و FWHM سازه‌های OLED با استفاده از روش تفاضل محدود حوزه زمان (FDTD) بررسی شد. نتایج شبیه سازی نشان داد که با تغییر اندازه نانوساختارهای نقره، می توان طول موج گسیل را تنظیم کرد و FWHM را کاهش داد. حضور نانومیله‌های نقره باعث کاهش قابل‌توجه در FWHM و جابه‌جایی به طول‌موج‌های بلندتر در ساختارها شدند. نتایج شبیه سازی نشان داد با استفاده از نانومیله‌های نقره در میانه‌ی لایه انتقال دهنده الکترون (Alq_3)، FWHM را به ۲۹ نانومتر و پیک گسیل به ۸۴۴ نانومتر تغییر داده است.

کلید واژه- دیودهای نورگسیل آلی، روش FDTD، مادون قرمز نزدیک، نانومیله،

Investigating the effect of Ag nanorods on the emission wavelength of OLED

Fatemeh Abbasi, Seyed Mohammad Bagher Ghorashi*

Department of Laser and Photonics Faculty of Physics University of Kashan, Kashan

Abstract- Noble metals, especially Ag and Au nanostructures, have unique and adjustable optical attributes in terms of surface plasmon resonance. In this research, the effect of Ag nanorods on the light extraction efficiency and the FWHM of OLED structures was investigated using the finite difference time domain (FDTD) method. The simulation results displayed that by changing the size of Ag nanostructures, the emission wavelength can be adjusted, and the FWHM can be reduced. The presence of Ag nanorods caused a significant reduction in the FWHM and a shift to the longer wavelengths in the structures. The simulation results showed that using Ag nanorods in the middle of the electron transfer layer (Alq_3), the FWHM decreased from 150nm to 29 nm and the emission peak shifted from 530 nm to 844 nm.

Keywords: OLED; FDTD method; near infrared; nanorod.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

پیشرفت‌های سریع در تست و ساخت نانوذرات و ویژگی‌های قابل تنظیم شکل و فیزیک نانوساختارهای فلزی، منجر به تحقیقات زیادی در این زمینه‌ها در سال‌های اخیر شده است. نانوذرات فلزی (MNPs)، به دلیل تشدید پلاسمون سطحی (LSPR)، بهبود عملکرد OLED را اثبات کرده‌اند. LSPR تحریک حالت‌های ارتعاشی جمعی الکترون‌های آزاد در سطح اتصال فلزات و دی‌الکتریک است. این تحریک به دلیل برهمکنش امواج الکترومغناطیسی با الکترون‌های آزاد MNP است. مطالعات اخیر نشان داده است که وجود MNP در ساختار OLED کارایی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که یک اتصال موج موثر در گسیل با تشدید پلاسمونی وجود داشته باشد، که به طور موثر با تغییر ترکیب، شکل، اندازه و محیط اطراف نانوساختارها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. انتخاب فلز با وابستگی شدیدتر به طول موج از بخش حقیقی ثابت دی الکتریک منجر به حساسیت تشدید پلاسمون سطح بالاتری می شود. همچنین، پراکندگی نور ناشی از MNPها می‌تواند به استخراج فوتون‌ها در زیرلایه یا انتقال موج کمک کند، که باعث افزایش کارایی استخراج نور (LEE) می‌شود. بنابراین، انرژی تشدید فلورسنت و LSPR باید به دقت با فاصله مناسب بین MNPها و لایه گسیلنده تنظیم شوند. با توجه به حساسیت تشدید پلاسمون سطحی که بستگی به نوع فلز و ساختار نانوساختارها دارد، نانوساختارهای نقره (Ag) از دسته موادی هستند که بیشترین تنوع را در شکل و اندازه ارائه کرده‌اند [۱].

این پژوهش، با هدف بررسی تأثیر نانوساختارهای Ag با اشکال میله‌ای بر ساختار OLED با نرم افزار لومریکال روش FDTD انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا ضخامت لایه‌های OLED شامل $Al/LiF/Alq_3/Alq_3/NPB/MoO_3/ITO$ بهینه شده و به عنوان یک ساختار OLED مرجع در نظر گرفته شده است. سپس، اثر نانومیله‌های نقره با اندازه‌های مختلف در OLED مرجع با جزئیات مورد بررسی قرار گرفت.

روش شبیه سازی

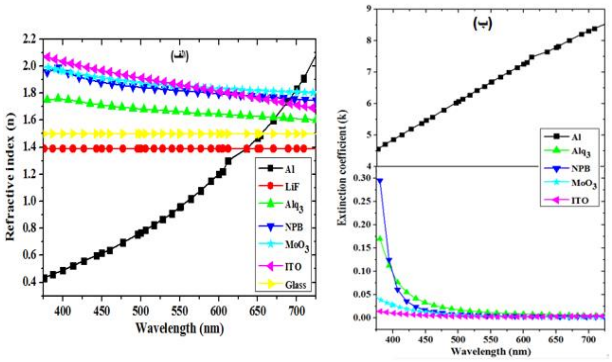
یکی از قدرتمندترین تکنیک‌های تحلیل عددی مورد استفاده برای حل معادله ماکسول روش FDTD است که بر اساس الگوریتم ایی برای حل مسائل پیچیده الکترومغناطیسی اعمال می‌شود. در این الگوریتم، حل گسسته‌ی معادلات ماکسول بر مبنای تقارن مرکزی مشتقات زمانی و مکانی معادلات کرل است [۲]. این روش جایگزین روش‌های مدل‌سازی میکروسکوپیک می باشد زیرا رفتار یک ساختار با ابعادی در مقیاس طول موج نور فرودی یا کوچک‌تر از آن متفاوت بوده و نمی توان آن را با روش هایی مانند اپتیک پرتو مورد بررسی قرار داد. شبیه سازی OLEDها بر مبنای این روش اغلب مبتنی بر بررسی نرخ فروافت تابشی گسیل کننده است. راندمان نور خارجی (LEE) در OLED به عنوان کسری از توان اپتیکی ایجاد شده در لایه فعال OLED که به خارج از ساختار در محدوده زاویه های دلخواه گسیل می کند، اطلاق می شود یعنی:

$$LEE = \frac{\gamma_{rad}}{\gamma_{rad} + \gamma_{loss}} \qquad (۱)$$

که در آن γ_{rad} نرخ فروافت تابشی و γ_{loss} نرخ فروافت اتلافی است که در گستره‌ی اهداف شبیه سازی با روش FDTD قرار گرفته و قابل محاسبه است. در ابتدا یک سلول سه بعدی برای شبیه سازی راندمان نور خارجی OLED

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

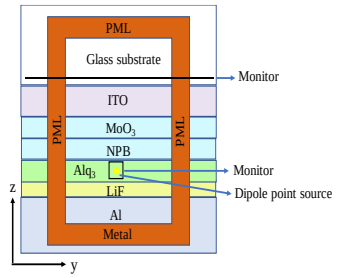
طراحی شد. ضریب شکست (n) و ضریب خاموشی(k) لایه-ها براساس شکل ۱ در نظر گرفته شد.



شکل ۱: الف) ضریب شکست و ب) ضریب خاموشی لایه‌های OLED [۱]

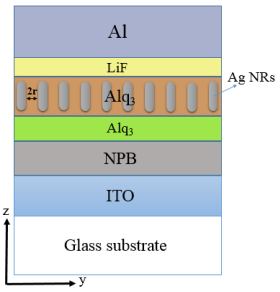
مکانیسم معمول تولید نور در OLED بازترکیب الکترون-های تزریق شده و حفره‌های موجود در لایه گسیل دهنده از طریق ایجاد فوتون است. در این مطالعه، فرض بر این است که فوتون‌ها در لایه گسیل- Alq_3- توسط منبع دوقطبی نقطه‌ای الکترومغناطیسی که در مرکز لایه Alq_3 قرار گرفته تشکیل شده‌اند. در واقع، فرآیندهای بازترکیب و پارامتر مؤثر بر روی آن، در نظر گرفته نشده و خارج از اهداف این کار بوده است.

همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، شرایط مرزی در نظر گرفته شده برای این ساختار شرایط مرزی لایه کاملاً جاذب (PML) و فلزی (Metal) است و دو مانیتور یکی حول نقطه منبع دو قطبی و دیگری در حالت افقی نزدیک به لایه ITO در زیرلایه شیشه ای قرار گرفته است (شکل ۲).



شکل ۲: طرح منطقه ناحیه شبیه سازی دو بعدی

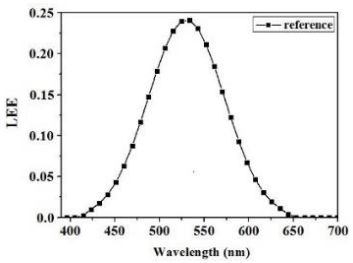
در مرحله اول ضخامت همه لایه‌ها (به غیر از لایه‌های LiF و Al) بهینه و به عنوان OLED مرجع در نظر گرفته شد. در مرحله بعد برای ایجاد اثر تشدید پلاسمون سطحی و بررسی آن بر بازده نور خارجی، نانومیله‌های فلزی نقره روی لایه انتقال دهنده الکترون قرار داده شد (شکل ۳). فاصله بین NRها مجاور دو برابر شعاع در نظر گرفته شد.



شکل ۳: ساختار OLED با نانومیله بصورت شماتیک

نتایج

در ساختار OLED طراحی شده، یک شیشه به عنوان زیرلایه، ITO به عنوان آند، MoO_3 به عنوان لایه تزریق کننده حفره، NPB به عنوان لایه انتقال دهنده حفره، Alq_3 به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون و گسیلنده نور، LiF و Al به عنوان کاتد در نظر گرفته شد. ضخامت بهینه برای Al، LiF، Alq3، NPB، MoO3، و ITO به ترتیب ۱۵۰ نانومتر، ۰،۸۵ نانومتر، ۷۰ نانومتر (لایه گسیلنده ۳۰ و لایه انتقال دهنده الکترون ۴۰ نانومتر)، ۵۰ نانومتر، ۵ نانومتر و ۱۰۰ نانومتر محاسبه شد و این ساختار به عنوان ساختار مرجع در نظر گرفته شد.



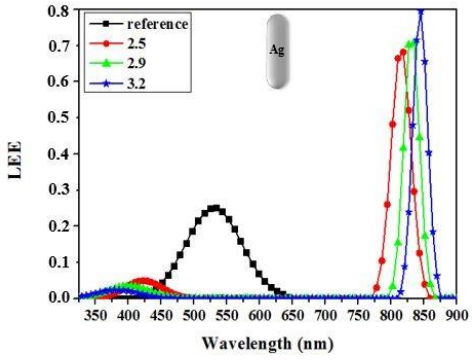
شکل ۴: طیف بازدهی نور خروجی برای ساختار OLED مرجع.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

برای ساختار OLED مرجع، قله گسیل در ۵۳۰ نانومتر با FWHM، ۱۵۰ نانومتر نمایان شد (شکل ۴).

برای بررسی تأثیر اندازه Ag-NRs، سه نمونه با نسبت ابعاد مختلف علاوه بر ساختار مرجع شبیه سازی شد. نتایج شبیه‌سازی بازدهی استخراج نور ساختار شامل Ag- NRs با اندازه‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.

وجود نانومیله‌های نقره در ساختار مرجع منجر به ظهور طول‌موج گسیل جدید در طول موج‌های بلندتر (حدود ۸۴۴ نانومتر) علاوه بر طول‌موج گسیل در حدود ۳۸۰ نانومتر می‌شود (شکل ۵). جذب پلاسمونی سطحی Ag-NRها دارای دو نوار: یک باند طول‌موج قوی به دلیل نوسان طولی الکترون‌ها و یک نوار طول‌موج کوتاه ضعیف در حدود ۴۲۰ نانومتر به دلیل نوسان الکترونیکی عرضی است. نوار جذب طولی با افزایش نسبت ابعاد میله از ناحیه مرئی به NIR منتقل می‌شود [۳]. نمونه‌های حاوی Ag-NRs با طول‌موج در محدوده مرئی می‌توانند با کاهش اندازه قطر، به آسانی تا طول‌موج‌های کوتاه‌تر از ۴۰۰ نانومتر کشیده شوند. از طرف دیگر، طول‌موج بزرگ‌تر نمونه‌های Ag-NR را می‌توان با افزایش نسبت ابعاد آنها به راحتی از ناحیه مرئی تا NIR تنظیم کرد [۴].



شکل ۵: طیف بازدهی نور خروجی برای نانومیله‌های نقره در اندازه‌های مختلف

تفاوت FWHM به حساسیت MNRs نسبت به ضریب شکست محیط اطراف نسبت داده شده است. طیف ساختار Ag-NRs (FWHM برابر با ۲۹ نانومتر) باریک‌تر و تیزتر از نمونه مرجع (FWHM برابر با ۱۵۰ نانومتر) است.

نتیجه گیری

در این تحقیق تأثیر نانوساختارهای نقره بر بازده استخراج نور OLED و موقعیت طول موج گسیل با روش FDTD بررسی شد. ضخامت‌های مختلف لایه‌های Alq_3، NBP، MoO_3 و ITO بهینه سازی شد و به عنوان ساختار مرجع در نظر گرفته شد. پس از تعیین ساختار مرجع حضور نانومیله‌های نقره در لایه انتقال دهنده الکترون با اندازه‌های مختلف در ساختار OLED مرجع مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد طول موج گسیل از ناحیه مرئی به ناحیه NIR منتقل شد. همچنین، با کنترل مناسب قطر آنها و نسبت ابعاد NRها، می توان محدوده طول موج گسیل را تنظیم کرد.

مرجع‌ها

[1] F. Abbasi, S. M. B. Ghorashi, E. Karimzadeh, H. Zabolian, Investigating the Effect of Ag and Au Nanostructures with Spherical and Rod Shapes on the Emission Wavelength of OLED, J. Plasmonics, (2021)1-8.

[2] A. J. Haes, C. L. Haynes, A. D. McFarland, G. C. Schatz, R. P. Van Duyne, S. Zou, Plasmonic materials for surface-enhanced sensing and spectroscopy, J. MRS Bull., 30 (2005) 368–375.

[3] X. Huang, I. H. El-Sayed, W. Qian, M. A. El-Sayed, Cancer cell imaging and photothermal therapy in the near-infrared region by using gold nanorods, J. Am. Chem. Soc., 128 (2006) 2115-2120.

[4] M. Luo, H. Huang, S. I. Choi, C. Zhang, R. R. Silva, H. C. Peng, Z. Y. Li, J. Liu, Z. He, Y. Xia, Facile synthesis of Ag nanorods with no plasmon resonance peak in the visible region by using Pd decahedra of 16 nm in size as seeds, J. ACS nano, 9 (2015) 10523-10532.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]