



بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد



## تغییرات دمایی ایجاد شده روی سطح لایه نانو ذرات طلا در اثر تابش هارمونیک دوم لیزر Nd:YAG برای انجام فرایند لایه نشانی در ساخت OLED

ناصر جهانبخشی زاده، محمود برهانی

دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، ایران

چکیده - روشهای مختلفی برای ساخت ادوات الکترواپتیکی OLED وجود دارد. رقابت در روش های ساخت OLED ها بر اساس دقت عملیات لایه نشانی و همچنین افزایش بازدهی OLED ساخته شده، می باشد. یکی از این روشها، روش لایه نشانی با استفاده از دمای ذوب و دمای واجذبی و همچنین خواص پلاسمونیک نانو ذرات طلا می باشد که با تابش لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر بر لایه نانو ذرات طلا، لایه نیمه هادی مورد استفاده در OLED بر روی زیر لایه، لایه نشانی می شود. در این مقاله پروفایل حرارتی ایجاد شده روی سطح لایه نانو ذرات طلا که در اثر تابش لیزر برای انجام فرایند لایه نشانی روی محلول نانو ذرات طلا تابیده شده است با حل معادله انتقال حرارت به روش تابع گرین بررسی شده است و نتایج آن شرح داده شده است.

کلید واژه- دمای واجذبی، لایه نشانی، لیزر، نانو ذرات

### Changing Temperature on the Surface of Gold Nanoparticles that Exposed to Radiation of Second Harmonic Nd: YAG Laser for Deposition in OLED Fabrication

Naser Jahanbakhshi Zadeh, Mahmoud Borhani

Department of Physics, Yazd University, Iran

Abstract- There are several methods for instruction of electro-optical OLED devices. Competition in manufacturing methods is based on careful operations and increase the efficiency of deposition. One of these methods is deposition by the melting temperature, desorption temperature and plasmonic properties of gold nanoparticles that by radiation a laser beam with a wavelength of 532 nm on layer of gold nanoparticles, deposition is carried out. In this paper, the generated temperature profile on the surface of gold nanoparticles is investigated by solving the temperature transfer equation using Green's function method. Finally, its results is discussed.

Keywords: Desorption Temperature, Deposition, Laser, Nanoparticles

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت [www.opsi.ir](http://www.opsi.ir) قابل دسترسی باشد.

مقدمه

روش‌های مختلفی برای حل معادله انتقال حرارت وجود دارد که ما برای شبیه‌سازی انتقال حرارت در این روش لایه نشانی با توجه به شرایط مرزی موجود، از روش تابع گرین استفاده می‌کنیم [۷].

مدل تئوری

برای بررسی رفتار حرارتی نانوذرات طلا که در برهمکنش با لیزر پالسی قرار گرفته‌اند از معادله انتقال حرارت فوریه استفاده می‌کنیم که به صورت زیر است [۸]:

$$\nabla^2 T - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho c_p} Q \quad (1)$$

در این رابطه  $Q = \alpha I$  مقدار گرمایی جذب شده و  $a$  و  $\rho$  و  $c_p$  و  $\alpha$  و  $I$  به ترتیب ضریب پخش شدگی گرمایی، چگالی، ظرفیت ویژه گرمایی، ضریب جذب و شدت نور لیزر تعریف می‌شوند. برای حل این مسئله از روش تابع گرین استفاده می‌نمائیم. تابع گرین پاسخ معادله زیر می‌باشد:

$$\nabla^2 G(x, x', y, y', z, z', t, t') = \delta(r - r') \delta(t - t') = \delta(x - x') \delta(y - y') \delta(z - z') \delta(t - t') \quad (2)$$

بعد از محاسبه تابع گرین، دمای  $T$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T(r, r', t, t') = \iiint G(r, r', t, t') \frac{\alpha}{\rho c_p} I(x', y') d^3 r' dt' \quad (3)$$

که شدت  $I$  برای لیزر با پالس گاوسی به صورت زیر است:

$$I = \frac{2E_0}{t_0 \pi w^2(z)} \exp(-2\frac{x^2 + y^2}{w^2(z)}) \exp(-\alpha z) \quad (4)$$

در این رابطه  $t_0$  و  $E_0$  به ترتیب پهنا و انرژی پالس لیزر و  $w(z)$  شعاع مقطع لیزر روی سطح محلول نانوذرات طلا می‌باشند.

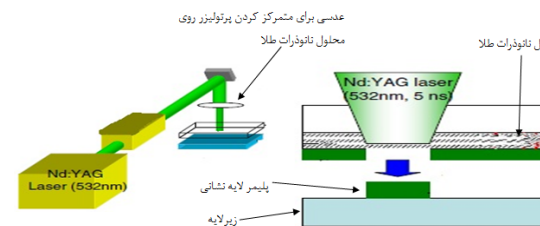
اگر ارتفاع محلول نانوذرات طلا و نیمه هادی مورد نظر ما که می‌خواهیم آن را لایه نشانی کنیم به ترتیب  $L_1$  و  $L_2$  باشد و فرض کم بودن فشار محیط اطراف محلول نانوذرات طلا را مد نظر قرار دهیم شار گرمایی منتقل شده در  $\mathbf{z} = \mathbf{0}$  و  $\mathbf{z} = L_1 + L_2 = \mathbf{N}$  صفر خواهد بود بنابراین:

$$\left. \frac{\partial G}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial G}{\partial z} \right|_{z=N} = 0 \quad (5)$$

برای انجام محاسبات، با در نظر گرفتن شرایط مرزی فوق

روشهای مختلفی برای لایه نشانی مواد نیمه هادی آلی وجود دارد که براساس نوع کاربرد این مواد و همچنین میزان بازدهی، این روشها مورد استفاده قرار می گیرند. مواد نیمه هادی از نوع پلیمری را معمولاً ابتدا به صورت محلول در آورده بعد لایه نشانی میکنند ولی مواد نیمه هادی از نوع مولکولهای کوچک را ابتدا تبخیر کرده بعد لایه نشانی میکنند [۱-۳].

در روش استفاده شده برای لایه نشانی مواد نیمه هادی آلی با استفاده از خصوصیات دمای ذوب و دمای واژدی و همچنین خصوصیات پلاسمونی نانوذرات طلا، با تاباندن نور لیزر پالسی با طول موج ۵۳۲ نانومتر به محلول نانوذرات طلا با شعاع بین ۳۰ تا ۴۰ نانومتر و جذب این نور توسط نانوذرات طلا و رسیدن به دمای واژدی، نیمه هادی مورد استفاده در OLED که در زیر محلول نانوذرات طلا قرار دارد روی زیرلایه لایه‌نشانی می شود (شکل ۱). در این روش می توان لایه نشانی با دقت نانومتر انجام داد [۴].



شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده برای لایه نشانی مواد نیمه هادی مورد استفاده در OLED [۴]

در این روش پرتو لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر را با استفاده از یک عدسی روی محلول نانوذرات طلا کانونی می‌کنند.

نانوذرات طلا، پرتو لیزر با این طول موج تابیده شده را جذب و دامپشان افزایش پیدا می‌کند [۵و۶]. دمای ذوب نانوذرات طلا حدود ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین نانوذرات طلا دارای یک دمای واژدی بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند که دمای واژدی دمایی است که وقتی نانوذرات طلا به آن می‌رسند لایه‌ای از نیمه هادی که به آن‌ها چسبیده است جدا می‌شود و روی زیرلایه قرار می‌گیرد. نانوذرات طلا در طول موج ۵۳۲ نانومتر بیشترین جذب را دارند. با تاباندن لیزر با این طول موج به محلول نانوذرات طلا، دمای این نانوذرات افزایش پیدا می‌کند و به دمای ذوب و دمای واژدی می‌رسند و در نهایت فرایند لایه‌نشانی انجام می‌گیرد.

$$T_1(r, r', t, t') = \frac{\alpha V E_0 a}{\rho c t_0 w^2 \sqrt{2\pi}} \times 10^6 \cos[4753661.91 z] \\ \times \sum_j \frac{Ei[-2.26 \times 10^{13} a(t'_j - t)]}{2a} + \frac{(x'_j - x)^2 + (y'_j - y)^2}{8a^2} \\ \times \left( e^{\frac{-2.26 \times 10^{13} (t'_j - t)a}{t'_j - t}} + 2.26 \times 10^{13} a Ei[-2.26 \times 10^{13} a(t'_j - t)] \right) \\ (1284 \cos[4753661.91(L_1 - z'_j)] - 54.6 \sin[4753661.91(L_1 - z'_j)])$$

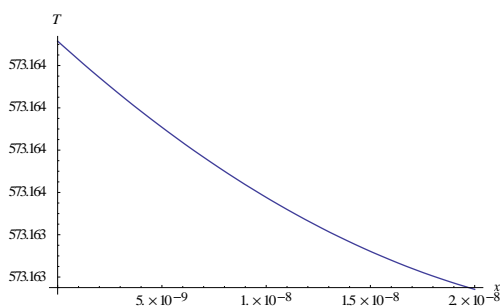
ب: برای ناحیه  $z' < z < L_1$  :

$$T_1(r, r', t, t') = \frac{\alpha V E_0 a}{\rho c t_0 w^2 \sqrt{2\pi}} \times 10^6 \sum_j \cos[4753661.91 z'_j] \\ \left[ \frac{Ei[-2.26 \times 10^{13} a(t'_j - t)]}{2a} + \frac{(x'_j - x)^2 + (y'_j - y)^2}{8a^2} \right] \\ \times \left( e^{\frac{-2.26 \times 10^{13} (t'_j - t)a}{t'_j - t}} + 2.26 \times 10^{13} a Ei[-2.26 \times 10^{13} a(t'_j - t)] \right) \\ (1284 \cos[4753661.91(L_1 - z)] - 54.6 \sin[4753661.91(L_1 - z)])$$

ج: برای ناحیه  $L_1 < z < N$  :

$$T_2(r, r', t, t') = 1284.12 \frac{\alpha V E_0 a}{\rho c t_0 w^2 \sqrt{2\pi}} \times 10^6 \cos[4753661.91(N - z)] \\ \sum_j \cos[4753661.91 z'_j] \left[ \frac{Ei[-2.26 \times 10^{13} a(t'_j - t)]}{2a} \right. \\ \left. + \frac{(x'_j - x)^2 + (y'_j - y)^2}{8a^2} \left( e^{\frac{-2.26 \times 10^{13} (t'_j - t)a}{t'_j - t}} + 2.26 \times 10^{13} a \right. \right. \\ \left. \left. Ei[-2.26 \times 10^{13} a(t'_j - t)] \right) \right]$$

در روابط فوق  $V$  حجم نانوذرات می باشد که متناسب با شعاع نانوذرات است. شکل (۲)، شکل (۳) و شکل (۴) به ترتیب تغییرات دمایی ایجاد شده (بر حسب کلوین) روی سطح محلول نانوذرات طلا را در اثر تابش لیزر برای نانوذرات طلا با شعاع های ۳۵ نانومتر، ۳۴ نانومتر و ۳۶ نانومتر نشان می دهند.



شکل ۲: نمودار تغییرات دمایی ایجاد شده روی سطح محلول نانوذرات طلا در راستای  $x$  برای نانوذرات با شعاع ۳۵ نانومتر

ناحیه محلول نانو ذرات طلا را به دو ناحیه  $0 < z < L_1$  و  $z' < z < L_1$  تقسیم می کنیم. با در نظر گرفتن پیوستگی تابع گرین در  $z = z'$  و ناپیوستگی مشتق تابع گرین در  $z = L_1$  و پیوستگی تابع گرین و مشتقش در  $z = z' < z < L_1$ ،  $0 < z < z'$  ناحیه سه برای ناحیه  $0 < z < z'$  و  $L_1 < z < N$  به صورت الف: برای ناحیه  $0 < z < z'$  :

$$G_1(x, x', y, y', z, z', t, t') = 642 \times 10^6 \sqrt{\frac{\pi}{2}} a e^{-a(t'-t)(2.26 \times 10^{13})} \\ \cos[4753661.91 z] \cos[4753661.91(L_1 - z')] \left[ \frac{1}{2a(t'-t)} \right. \\ \left. - \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{8[a(t-t')]^2} \right] - 27.3a \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times 10^4 e^{-a(t'-t)(2.26 \times 10^{13})} \\ \sin[4753661.91(L_1 - z')] \cos[4753661.91 z] \\ \left[ \frac{1}{2a(t'-t)} - \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{8[a(t-t')]^2} \right]$$

ب: برای ناحیه  $z' < z < L_1$  :

$$G_1(x, x', y, y', z, z', t, t') = 642 \times 10^6 \sqrt{\frac{\pi}{2}} a e^{-a(t'-t)(2.26 \times 10^{13})} \\ \cos[4753661.91 z'] \cos[4753661.91(L_1 - z)] \left[ \frac{1}{2a(t'-t)} - \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{8[a(t-t')]^2} \right] - 27.3a \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times 10^4 e^{-a(t'-t)(2.26 \times 10^{13})} \\ \sin[4753661.91(L_1 - z)] \cos[4753661.91 z'] \left[ \frac{1}{2a(t'-t)} \right. \\ \left. - \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{8[a(t-t')]^2} \right]$$

ج: برای ناحیه  $L_1 < z < N$  :

$$G_2(x, x', y, y', z, z', t, t') = 642.06 \times 10^6 \sqrt{\frac{\pi}{2}} a e^{-a(t'-t)(2.26 \times 10^{13})} \\ \cos[4753661.91 z'] \cos[4753661.91(N - z)] \left[ \frac{1}{2a(t'-t)} \right. \\ \left. - \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{8[a(t-t')]^2} \right]$$

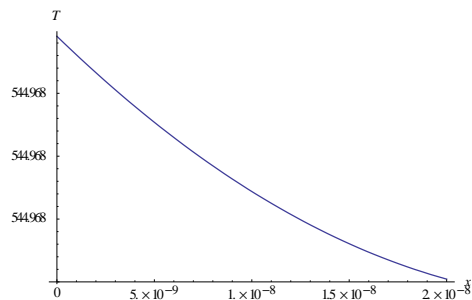
حال با در نظر گرفتن معادله (۳) دما برای سه ناحیه فوق به صورت زیر است:

الف: برای ناحیه  $0 < z < z'$  :

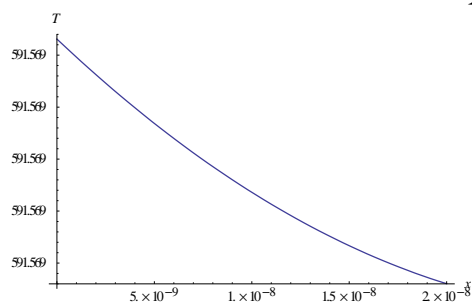
لیزر، برای نانو ذرات طلا با شعاع های بین ۳۰ تا ۴۰ نانومتر دمایی بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد می باشد که برای نانو ذرات طلا با شعاع حدود ۳۵ نانومتر بهترین بازدهی که همان تولید دمای واجذب که بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد است را داریم که مطابق با دمای تولید شده در کار آزمایشگاهی مرجع [۴] می باشد. همچنین برای نانو ذرات طلا با شعاع ۳۵ نانومتر بهترین دمای تولید شده برای فرایند لایه نشانی ایجاد می شود...

### مراجع

- [1] M. Baldo, M. Deutsch, P. Burrows, H. Gossenberger, Advanced Materials, WILEY-VCH Verlag GmbH, Germany, 1998.
- [2] J. Bharathan, Y. Yang, Polymer Electroluminescent Devices Processed by Inkjet Printing: I. Polymer Light-Emitting Logo, APPLIED PHYSICS LETTERS, 21 (1998) 72.
- [3] J. P. Valetton, W. M. Bastiaansen, D. J. Broer, J. Perelaer, Room Temperature Preparation of Conductive Silver Features Using Spin-Coating and Inkjet Printing, Journal of Materials Chemistry, 20 (2010) 543-546.
- [4] S.H. Ko, H. Pan, D. Lee, C.P. Grigoropoulos, and H.K. Park, Nanoparticle Selective Laser Processing For a Flexible Display Fabrication, JJAP, 49 (2010) 05EC03.
- [5] P.A. Buffat and J.P. Borel, "Nanosecond laser ablation of gold nanoparticle films", *Phys. Rev. A* 13 (1976) 2287.
- [6] S. Ko, Y. Choi, D. J. Hwang, C. P. Grigoropoulos, and D. Poulidakos, "High resolution selective multilayer laser processing by nanosecond laser ablation of metal nanoparticle films", *Appl. Phys. Lett.*, 89 (2006) 141126.
- [7] E.N. Economou, "Green's Functions in Quantum Physics", Springer, USA, (2006).
- [8] S. Volz, "Microscale and Nanoscale Heat Transfer", Springer, London, (2007)



شکل ۳: نمودار تغییرات دمایی (برحسب کلوین) ایجاد شده روی سطح محلول نانو ذرات طلا در راستای X برای نانو ذرات با شعاع ۳۴ نانومتر



شکل ۴: نمودار تغییرات دمایی (برحسب کلوین) ایجاد شده روی سطح محلول نانو ذرات طلا در راستای X برای نانو ذرات با شعاع ۳۶ نانومتر

همانطور که مشاهده می شود دمای ایجاد شده روی سطح نانو ذرات طلا همان دمایی است که در کار آزمایشگاهی مرجع [۴] در ساخت لایه های OLED ایجاد شده است (بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد). در واقع دمای ایجاد شده در مدل ریاضی تعریف شده توسط ما برای چیدمان آزمایشگاهی مرجع [۴] با دمای تولید شده در کار آزمایشگاهی این مرجع یکی شده است. تغییرات دمایی روی سطح محلول نانو ذرات طلا در راستای Y نیز شبیه تغییرات دمایی در راستای X می باشد چون وابستگی دمایی بدست آمده برای راستاهای X و Y یکسان است.

### نتیجه گیری

با تاباندن نور لیزر به محلول نانو ذرات طلا، میزان دمای ایجاد شده توسط لیزر روی سطح محلول نانو ذرات طلا لایه نشانی شده روی نیمه هادی مورد استفاده در ساخت OLED که به دلیل جذب نور توسط نانو ذرات طلا می باشد افزایش پیدا می کند. نتایج مدل تئوری ما که بر اساس حل معادله انتقال حرارت برای چیدمان آزمایشگاهی مرجع [۴] می باشد نشان می دهد دمای تولید شده روی سطح محلول نانو ذرات طلا در اثر تابش