تاثیر چگالی آلایش بر توان نور خروجی از دیود نورگسیل تک چاه کوانتومی بر پایه InGaN/GaN

کلهر، بهروز[۱]؛ کلهر، داود[۲]؛ سوری، داریوش[۱]

۱-گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر

۲- دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان

چکیده – مهمترین مزیت استفاده از ساختار چاه های کوانتومی در دیود های نورگسیل، افزایش باز ترکیب سطحی حاملهای بار الکتریکی و به دنبال آن ارتقاء توان نور خروجی می باشد. یکی از عوامل موثر در میزان توان نور خروجی این دیودهای نورگسیل چگالی آلایش است. در این مطالعه، یک دیود نورگسیل تک چاه کوانتومی بر پایه *InGaN/GaN* با استفاده از نرم افزار سیلواکو (اتلس) شبیه سازی و تاثیر چگالی آلایش به ازای ولتاژ ثابت آند بر روی عملکرد آن بررسی شده است. به ازای مقادیر مختلف چگالی آلایش، مشخصه های *LED* بدست آمده است. با افزایش چگالی آلایش، مقدار توان نور خروجی شروع به افزایش کرده و به حالت بهینه می رسد.

کلید واژه- بازترکیب، توان نور خروجی، دیود نور گسیل، چاه کوانتومی، چگالی آلایش

The Effect of Doping Concentration on the Output Optical Power of InGaN/GaN- Based Single Quantum-Well Light Emitting Diode

Kalhor, Behroz[1]; Kalhor, Davood[2]; Souri, Dariush[1]
1-Department of Physics, Faculty of Science, Malayer University;
2-Faculty of Physics, Damghan University

Abstract- The main advantage of using of quantum-wells structure in light-emitting diodes (LEDs) is that these structures boost the surface recombination of electrical charge carriers and then, increases their output optical power. Doping concentration is one of the most effective factors for the magnitude of the output optical power in these LEDs. In this study, a single quantum-well LED based on InGaN/GaN was simulated and the effect of doping concentration on its performance was investigated at fixed anode voltage by using Silvaco (ATLAS) software. Characteristics of LED have been achieved for different values of dopant content. The output optical power of the LED would begin to raise to an optimum point as a result of increase in doping concentration.

Keywords: recombination, output optical power, light-emitting diode(LED), quantum-well structures, doping concentration.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

در سال های اخیر استفاده از دیودهای نورگسیل (LED) آبی در نمایشگرها و برای سیستم های روشنایی روند افزایشی پیدا کرده است. درخشندگی و دوام LEDها باعث شد که گزینه ای مناسب برای ساخت نمایشگرها باشند[۱و۲]. مساله مهم در LEDهای تک چاه کوانتومی بر پایه InGaN/GaN تلاش برای افزایش توان نور خروجی می باشد[۳]. بازترکیب سطحی و بهره نوری بالا، با وجود چاه های کوانتومی امکان پذیر است. در LEDهای چاه کوانتومی هنگامی که حامل های بار به لایه های InGaN/GaN تزریق می شوند، در حالت های گسسته انرژی و در مرکز بازترکیب های غیر نوری به تله می افتند [۴]. حامل های تزریق شده در چاه کوانتومی منجر به افزایش چگالی حامل ها شده و در نتیجه شدت بازترکیب ها افزایش می یابد[۵]. بازترکیب سطحی نقش کمی در چاه کوانتومی دارد زیرا حاملها در بین دیواره چاه کوانتومی گیر افتاده اند و مانع از رسیدن به سطح می شوند. عواملی مانند کسر مولی و چگالی آلایش بر روی توان نور خروجی تاثیر گذارند[۱].

در این مقاله عملکرد اپتیکی و الکتریکی یک LED مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار یک LED تک چاه کوانتومی شبیه سازی شده و مشخصه های آن به ازای چگالی های مختلف آلایش، بدست آمده است.

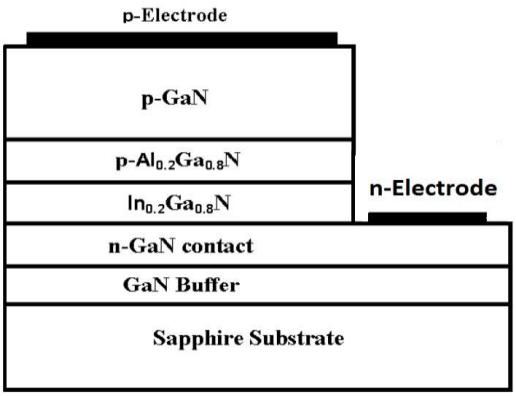
۲- روش انجام شبیه سازی

برای انجام این شبیه سازی طرحی با ساختاری مطابق شکل (۱) استفاده شده است. در این ساختار لایه InGaN محیط فعال می باشد و به صورت چاه کوانتومی رفتار می کند. چاه کوانتومی تشکیل شده از دو نیمرسانای متفاوت با گاف انرژی های $E_{g\ barrir}$ و $E_{g\ well}$ مطابق شکل (۲) در فصل مشترک AlGaN و GaN قرار دارد[۱].

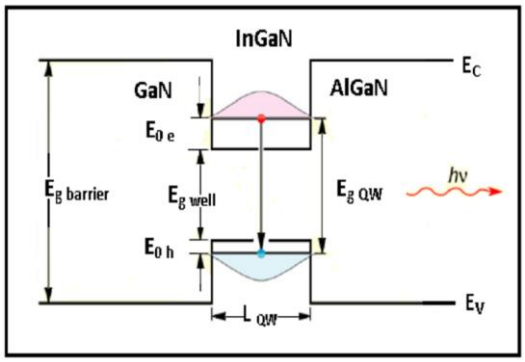
رابطه بین گاف انرژی به صورت زیر می باشد.

$$E_{g,QW} = E_{g,WELL} + E_{oh} + E_{oe} \qquad (۱)$$

در این رابطه $E_{g,QW}$ انرژی تابش شده، و E_{oh} و E_{oe} به ترتیب انرژی حفره و الکترون کوانتیزه شده هستند[۱].



شکل ۱: ساختار لایه‌ها در LED شبیه سازی شده



شکل ۲:طرح انرژی چاه کوانتومی در فصل مشترک InGaN/GaN

مقدار ضخامت لایه ها، نوع آلایش و مقدار تحرک پذیری الکترون ها و حفره های در نظر گرفته شده در شبیه سازی مطابق جدول (۱) می باشد.

جدول ۱:مشخصات مواد استفاده شده در این طرح

جنس ماده	نوع آلایش	ضخامت (nm)	چگالی آلایش cm^{-3}
GaN	P	۴۰۰	۱۰^۱۹□۱
$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$	P	۱۰۰	۱۰^۱۹□۱
$In_{0.2}Ga_{0.8}N$	-	۳	-
GaN	N	۴۵۰۰	۱۰^۱۹□۱
GaN	-	۳۰	-

برای مشاهده نور گسیل شده از LED، بازترکیب نوری در شبیه سازی لحاظ شده است. از طرفی وجود ناخالصی در

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]

نیمرساناها باعث ایجاد ترازهای انرژی در محدوده نوار ممنوعه و در نتیجه ایجاد بازترکیب های غیر نوری می شود[۲]. به همین دلیل پدیده شاتکی-رید-هال طبق رابطه (۲) در شبیه سازی در نظر گرفته شده است.

$$R_{SRH} = \frac{pn - n_i^2}{TAUP0\left[n + n_i \exp\left(\frac{ETRAP}{kT_L}\right)\right] + TAUN0\left[p + n_i \exp\left(\frac{-ETRAP}{kT_L}\right)\right]} \quad (۲)$$

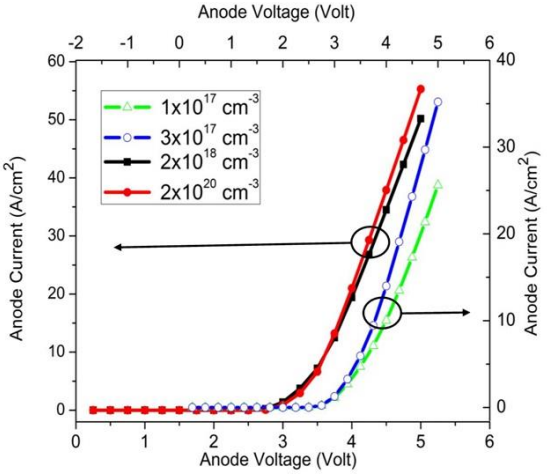
در رابطه بالا ETRAP اختلاف انرژی مرکز بازترکیب و انرژی فرمی ذاتی (ET-EI)، T_L دمای شبکه بر حسب کلوین و TAUN0 و TAUP0 مقادیر طول عمر الکترون و حفره می باشند. همچنین n_i، n و p به ترتیب چگالی حاملهای ذاتی، چگالی الکترونها و حفره ها می باشند. در دیودهای نورگسیل با چگالی حاملهای بالا، پدیده اوژه به عنوان یک بازترکیب غیر تابشی بر عملکرد LED اثر نامطلوب دارد[۲،۶]. لذا این پدیده نیز در این شبیه سازی مد نظر قرار گرفته و طبق رابطه زیر لحاظ شده است.

$$R_{Auger} = AUGN\left(pn^2 - nn_i^2\right) + AUGP\left(np^2 - pn_i^2\right) \quad (۳)$$

در رابطه بالا AUGN و AUGP به ترتیب طول عمر الکترون و حفره می باشند

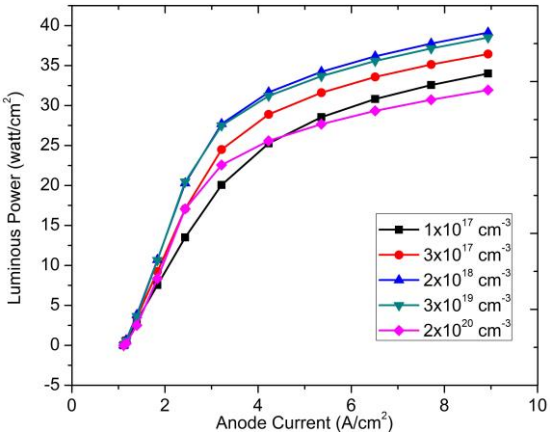
۳- بحث و تحلیل

به ازای مقادیر مختلف چگالی آلایش برای لایه AlGaN، مشخصه های این LED بدست آمده و مورد بررسی قرار گرفته است. نمودار I-V بدست آمده به ازای مقادیر مختلف چگالی آلایش در شکل (۳) نشان داده شده است. طبق این شکل با افزایش چگالی آلایش، مقدار جریان نیز افزایش پیدا کرده است. همچنین، با افزایش چگالی آلایش، در مقدار ولتاژ آستانه هدایت تغییر محسوسی مشاهده نشده است؛ و افزایش چگالی آلایش خللی در رفتار نمودار I-V ایجاد نکرده است.



شکل ۳: نمودار I-V بر اساس چگالی های مختلف آلایش لایه AlGaN

نمودار لومینیسانس-جریان برای آلایش های مختلف بدست آمده و در شکل (۴) نشان داده شده است. در ابتدا با افزایش جریان، مقدار لومینیسانس به شدت افزایش می یابد ولی در جریان های بالاتر با افزایش تزریق الکترون و حفره، از آند به کاتد نشت الکترون اتفاق می افتد که یکی از عوامل کاهش لومینیسانس در جریان های بالاتر می باشد[۲،۶].



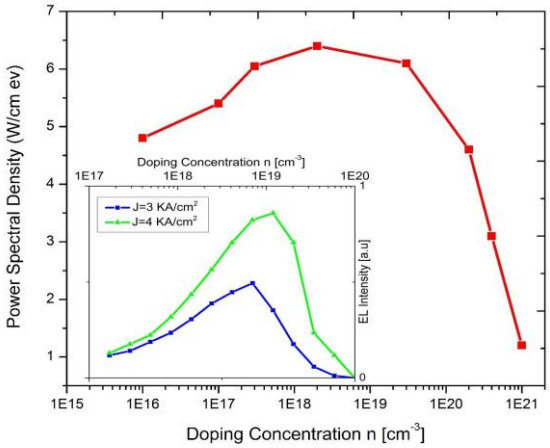
شکل ۴: نمودار تغییرات لومینیسانس با تغییر چگالی آلایش لایه AlGaN

طبق شکل (۴) با افزایش چگالی آلایش، مقدار لومینیسانس نیز شروع به افزایش می کند و به نقطه بیشینه می رسد. بیشترین مقدار لومینیسانس به ازای چگالی 2×10^{18} cm^{-3} بدست آمده است و این مقدار حالت بهینه برای این دیود نور گسیل می باشد. با گذر از نقطه بیشینه، هر چه مقدار چگالی آلایش افزایش می یابد پدیده اوژه اثر گذارتر شده و مقدار لومینیسانس کاهش پیدا می کند. کمترین مقدار

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

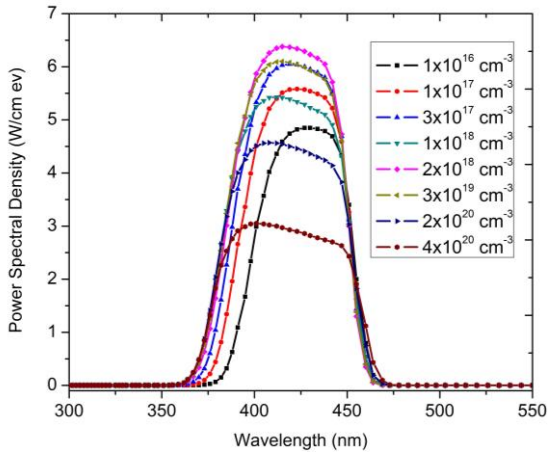
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]

لومینیسانس به ازای چگالی 2×10^{20} cm^{-3} بدست آمده است. در شکل (۵) تاثیر چگالی آلایش بر توان خروجی بررسی می شود. طبق این شکل با افزایش چگالی آلایش در ناحیه سد کننده الکترون از مقدار 1×10^{16} cm^{-3} تا 2×10^{18} توان خروجی روند افزایشی پیدا می کند. ولی با افزایش بیشتر چگالی از این مقدار توان خروجی کاهش زیادی پیدا می کند. در واقع توان خروجی در یک محدوده از چگالی آلایش دارای مقدار بهینه می باشد. این موضوع با نتایج تجربی آقای م. اهم و همکارانشان مطابقت دارد [۷].



شکل ۵: نمودار تغییرات توان نور خروجی با افزایش چگالی آلایش لایه AlGaN (شکل داخلی، نتایج تجربی مرجع [۷])

علاوه بر موارد ذکر شده در بالا، تغییرات چگالی آلایش باعث تغییراتی در محدوده طول موج خروجی از LED می شود.



شکل ۶: تغییرات طول موج و توان خروجی از LED طراحی شده بر اساس چگالی آلایش های مختلف برای لایه AlGaN

در شکل (۶) روند تغییر بیشینه طول موج با تغییرات چگالی آلایش نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود، تغییرات چگالی آلایش در لایه AlGaN باعث تغییراتی در بیشینه طول موج و همچنین تغییراتی در پهنای طول موجی می شود؛ ولی محدوده طول موج حفظ شده است و بیشترین توان طیفی مربوط به چگالی آلایش بهینه ی 2×10^{18} cm^{-3} می باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از شبیه سازی، تاثیر چگالی آلایش بر توان نور خروجی و برخی مشخصه های یک LED تک چاه کوانتومی بر پایه InGaN/GaN بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان می دهد با افزایش چگالی آلایش در لایه AlGaN، توان نور خروجی ابتدا شروع به افزایش می کند و به ازای مقدار 2×10^{18} cm^{-3} بیشترین توان نور را دارد. با افزایش چگالی آلایش از مقدار 2×10^{18} cm^{-3} توان نور خروجی به شدت کاهش می یابد.

مراجع

[1] A. Prajapati , P. Dey, T. D. Das, "The Effect of Mole-fraction on Power Spectral Density of Single Quantum well based InxGa1-xN/GaN Blue Light Emitting Diode", IEEE, 978-1-4673-6621, 2016.

[2] Y. Zhang, Z. Zhang, W.Liu, S.Tan, X. Zhang, Y. Ji, L. Wang, Z. Kyan, N. Hasanov, B. Zhu, S. Lu, X. Sun, H. Demir, "Nonradiative recombination-critical in choosing quantum well number for InGan/GaN light emitting diodes", OPTICS EXPRESS,Vol. 23, No. 3, 2014

[3] Y.Ji, Z.Zhang, Z.Kyaw, S.Tan, Z.Ju, X.Zhang, W.Liu, X.Sun , H.Demir, "Influence of n-type versus p-type AlGaN electron-blocking layer on InGaN/GaN multiple quantum wells light-emitting diodes", App. Phys. Lett, Vol. 103, No. 053512 ,2013.

[4] S. Singh, N K.Rohila, S Pal, C.Dhanavantri, "Optimization towards reduction of efficiency droop in blue GaN/InGaN based light emitting diodes", Optik-International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 123, No. 1287 ,2012.

[5] S.D.Lester, F.A.Ponce, M.G.Craford, "High dislocation densities in high efficiency GaN-based light emitting diodes", App. Phys. Lett,Vol.66, No. 1249, 1995.

[6] F.Romer, B.Witzigmann, "Effect of auger recombination and leakage on the droop in InGaN/GaN quantum well LEDs", OPTICS EXPRESS,Vol. 22, No. 6, 2014.

[7] M.Oehme, M.Gollhofer, D.Widmann, M.Schmid, M.Kaschel, E.Kasper, "Direct bandgap narrowing in GE LED's on Si substrate", OPTICS EXPRESS,Vol. 21, No. 2, 2013.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-20]