



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

## دیودهای ساطع کننده-نور با-چند چاه-کوانتوم با یک ترکیب InN درجه بندی

### برای حذف نوترکیبی Auger

در دیودهای ساطع کننده-نور InGaN/GaN (LEDها)، چاه های کوانتومی InGaN نازک معمولاً برای کاهش اثر Stark کوانتومی (QCSE) که از قطبش قوی القا شده از میدان الکتریکی، از طریق الکترون ها و حفره های فضایی محدودکننده در حجم های نوترکیبی کوچک ایجاد می شوند. با این حال، این کار به ناچار، چگالی حامل در چاه های کوانتومی را افزایش می دهد که به نوبه خود موجب تشدید نوترکیبی Auger می شود. زیرا نوترکیبی Auger با توان سوم چگالی حامل مقیاس بندی می شود. در نتیجه، افت بهره وری نوترکیبی Auger به شدت عملکرد LED را محدود می کند. در اینجا، ما چاه های کوانتومی InGaN گسترده را با ترکیب InN با درجه بندی خطی در امتداد جهت رشد در ساختارهای LED سرکوب کننده نوترکیبی Auger و QCSE به طور همزمان پیشنهاد و نشان می دهیم. از لحاظ تئوری، مکانیسم فیزیکی در پشت سرکوب نوترکیبی Auger نیز نشان داد. ساختار LED پیشنهادی از نظر تجربی بهبود قابل توجهی را در قدرت خروجی نوری و افت کارایی نشان داده است که اثبات شده است که یک راه حل موثر برای این مشکل مهم نوترکیبی Auger است.

دیودهای ساطع کننده-نور InGaN/GaN (LEDها) از نظر الکتریکی و نوری، کارایی و قابلیت اطمینان بالاتر را به صورت منابع نور آبی برای تولید نور سفید وعده داده اند. از این رو، آنها به عنوان کاندیدهای بسیار عالی برای نور مصنوعی برای جایگزینی فلورسنت مرسوم لازم و منابع نور گداخته در نظر گرفته می شوند. به همین دلیل، یک پیشرفت قابل توجه در LEDهای InGaN/GaN در چند دهه گذشته صورت گرفته است. با این حال بهره وری LED تا کنون هنوز هم محدود شده است و به خصوص سطوح بالایی از افت بهره وری معمولاً در چگالی جریان بالا مشاهده شده است، که ناشی از چند عامل از جمله سرریز الکترون، نوترکیبی (Shockley-Read-Hall (SRH)، ۴،۵ و بازترکیب Auger است. ۶ در میان آنها، نوترکیبی Auger به طور شدیدتر زیر یک سطح جریان تزریق بالا است، زیرا مقیاس های نوترکیبی Auger با توان سوم چگالی حامل ( $\sim n^3$ ) با  $n$  که به عنوان چگالی حامل های

گرفته شده در چاه کوانتومی نشان داده می شود). بنابراین، سرکوب نوترکیبی Auger برای بهبود عملکرد LED بسیار مهم است. برای رسیدگی به مسائل مربوط به Auger و ارتقای عملکرد LED، می توان افزایش ضخامت چاه کوانتومی و همگن سازی توزیع حامل در داخل چاه های کوانتومی را برای کاهش چگالی حامل در نظر گرفت. با این وجود، LED های InGaN/GaN رشد یافته در امتداد جهت گیری [۰۰۰۱] از قطبش قوی القا شده از میدان الکتریکی در چاه های کوانتومی رنج می برند. ۷ در نتیجه، هم ترازای باند انرژی کج شده تولید می شود، که به نوبه خود باعث جداسازی الکترون و حفره و تجمع حامل در سطوح مخالف چاه قطبش کوانتومی و پیوند ناهمگون مانع کوانتومی می شود. یک توزیع حامل همگن تر را می توان با ساختارهای LED بر اساس صفحات رشد ناقصی و نیمه قطبی تحقق بخشید.

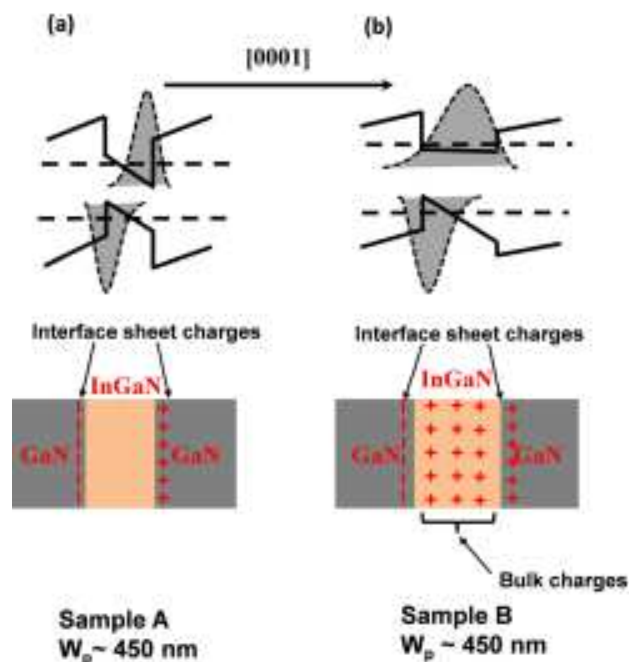
علاوه بر این، حتی در مورد جهت گیری [۰۰۰۱]، وضعیت تطبیق یافته قطبش را می توان با تعبیه چاه های کوانتومی InGaN بین سدهای کوانتوم AlGaInN آلیاژی مناسب تحقق بخشید. با این حال، هزینه زیرلایه های غیرقطبی / نیمه قطبی و آزادی محدود رشد همبافته برای ترکیبات چهارتایی AlGaInN مانع اتخاذ گسترده این حلال ها می شود. از سوی دیگر، با توجه به تحرک و عدم تقارن دوپینگ برای الکترون ها و حفره ها، چگالی الکترونی به طور معمول بالاتر از چگالی حفره در چاه های کوانتومی است و از این رو نوترکیبی Auger می تواند به طور موثر کاهش یابد اگر الکترون ها به طور مساوی در چاه های کوانتومی زیر سطح تزریق جریان بالا توزیع شوند. در این کار، ما یک معماری LED رشد یافته در امتداد جهت گیری [۰۰۰۱] را با ضخامت چاه کوانتومی عریض در ترکیب InN درجه بندی در چاه های کوانتومی InGaN/GaN پیشنهاد و نشان دادیم. ما یک سطح پیشرفته از توان نوری و افت راندمان کاهش یافته هر دو در شبیه سازی های عددی و اندازه گیری های تجربی به دست آوردیم که به خوبی به سرکوب نرخ نوترکیبی Auger توسط ساختار پیشنهادی نسبت داده می شود. محاسبات، یک باند هدایت مسطح تر و مشخصات توزیع الکترون مسطح تر در چاه های کوانتومی برای LED پیشنهادی را نشان می دهند. مشخص شده است که نوترکیبی Auger در ساختار LED پیشنهادی بر اساس محاسبات ما کمتر پشتیبانی می شود.

LEDها (نمونه های A و B) با پیکربندی های چاه کوانتومی فوق الذکر توسط یک سیستم فلزی-آلی رسوب شیمیایی بخار (MOCVD) رشد یافته اند. رشد برای هر دو نمونه ها از زیرلایه های یاقوت کبود صفحه-c آغاز شد. یک لایه هسته سازی GaN با ضخامت ۳۰ نانومتر در ابتدا رسوب یافت و سپس یک لایه GaN دوپ شده غیرعمدی با ضخامت ۴ میکرومتر (GaN-U) به عنوان الگو رشد کرد. این کار با یک لایه GaN نوع-n ۲ میکرومتری دنبال شد که توسط ناخالصی های Si  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  دوپ شد. دو نمونه رشدیافته همبافت فقط در چاه های کوانتومی چندگانه خود (MQWs) متفاوت هستند. نمونه A از سه دوره  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}/\text{GaN MQWs}$  استفاده نمود که چاه کوانتومی و ضخامت سد کوانتومی به ترتیب در ۳ نانومتر و ۱۲ نانومتر تثبیت شد. نمونه B نیز از سه دوره  $\text{InGaN}/\text{GaN MQWs}$  استفاده نمود. اما ضخامت چاه کوانتومی به ۵ نانومتر افزایش یافت و ترکیب InN به طور خطی از ۰,۱۵ به ۰,۰۸ درون گستره چاه کوانتومی ۵ نانومتری کاهش یافت. ضخامت مانع کوانتومی در ۱۲ نانومتر حفظ شد. توجه داشته باشید که متوسط ترکیب InN چاه کوانتومی نمونه B به منظور حفظ همان طول موج انتشار پیک ۴۵۰ نانومتر (WP) همانند نمونه A در ۰,۱۱۵ تنظیم شد. دیگرام های شماتیک باند انرژی چاه کوانتومی برای نمونه A و B در اشکال ۱(a) و ۱(b) نشان داده شده است. پس از آن، لایه مسدودسازی الکترون  $\text{Al}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$  نوع-p ۲۵ نانومتری و لایه GaN نوع-p با ضخامت ۰,۲ میکرومتر برای هر دو نمونه کشت داده شدند. غلظت موثر حفره در مقدار  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  برآورد شد. در نهایت، یک لایه به شدت دوپ شده  $\text{p}^+\text{-GaN}$  ۱۰ نانومتری در نهایت برای به کارگیری به عنوان لایه اتصال اهمی رشد یافت.

برای مشخص سازی توان خروجی نوری نمونه های A و B، یک حوزه یکپارچه سازی متصل به یک طیف سنج Ocean Optics (QE65000) برای جمع آوری الکترومینیسانس (EL) استفاده شد. اتصالات فلزی ایندیم با قطر ۱,۰ میلی متر در ویفرهای LED ساخته شدند. همچنین، شبیه سازی های عددی برای مطالعه مشخصات چگالی الکترون، باندهای انرژی، و نوترکیبی حامل انجام شد. بسته نرم افزار استفاده شده در این کار، شبیه سازی تجاری APSYS است. ضریب نوترکیبی SRH، افسست باند انرژی، و پارامترهای شبیه سازی دیگر برای ترکیبات حاوی نیتروژن را می توان در کارهای منتشر شده قبلی یافت. در عین حال، با توجه به اشکال ۱(a) و ۱(b)، ما بارهای

القایی قطبش را نیز در نظر گرفتیم و چگالی بار با توجه به مدل های توسعه یافته توسط Fiorentini و همکاران محاسبه می شود. به طور خاص، یک چگالی بار حجمی  $+5.15 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$  در  $\text{In}_{0.15} \rightarrow 0.08 \text{Ga}_{0.85} \rightarrow 0.92 \text{N/GaN MQWs}$  برای نمونه B فرض شد. در حالی که چگالی بار واسطه القا شده قطبش برای  $\text{In}_{0.15} \text{Ga}_{0.85} \text{N/GaN}$  و پیوندهای ناهمگون  $\text{In}_{0.08} \text{Ga}_{0.92} \text{N/GaN}$  در  $0.54 \times 10^{17}$  و  $0.30 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$  به ترتیب برای هر دو نمونه A و B تنظیم شد. اثر غربالگری برای میدان الکتریکی القا شده قطبش در چاه کوانتوم توسط حامل های آزاد نیز در طی محاسبات صورت گرفته است. ضرایب نوترکیبی Auger از کار به تازگی منتشر شده توسط Kioupakis و همکاران گرفته شد. توجه داشته باشید که ما تاثیر اثر قطبش بر ضرایب نوترکیبی SRH و Auger را در نظر گرفتیم، ۱۸ زیرا تنها دارای اثر جزئی بر نتایج شبیه سازی است.

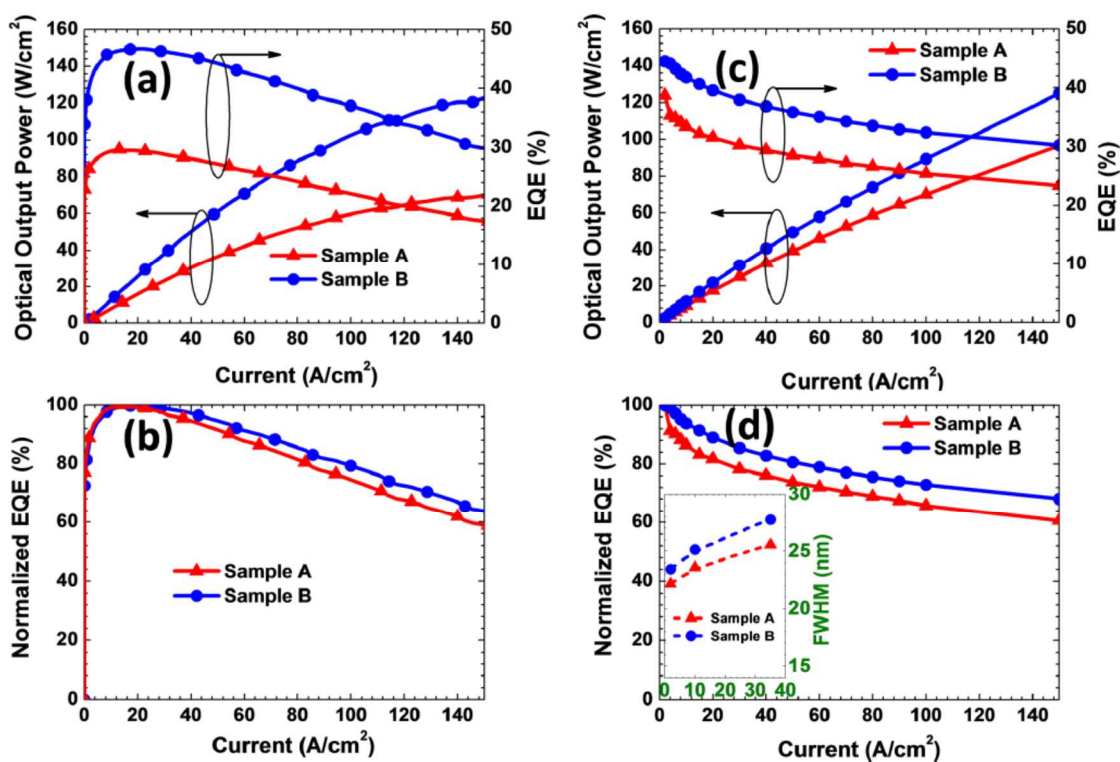
شکل ۱.



اشکال 2(a)-2(d)، توان خروجی نوری و بازده کوانتومی خارجی (EQE) برای نمونه های A و B را از هر دوی محاسبات و آزمایش نشان می دهد. دیده می شود که هر دوی توان خروجی نوری و EQE برای نمونه B نسبت به

نمونه A بهبود می یابد و توافق خوبی بین نتایج عددی و تجربی مشاهده می شوند. به طور خاص، با توجه به شکل 2(c)، توان خروجی نوری اندازه گیری شده تجربی برای نمونه B در  $150 \text{ A / cm}^2$  تا  $29,39$  درصد در مقایسه با این مقدار برای نمونه A افزایش می یابد. علاوه بر این، نمونه B، یک افت بهره وری کاهش یافته را در هر دوی محاسبات و آزمایش با توجه به شکل 2(b) و 2(d) نشان داده است. افت بهره وری عددی محاسبه شده برای نمونه های A و B در شکل 2(b) به ترتیب  $40,73\%$  و  $35,52\%$  در  $150 \text{ A / cm}^2$  است. در حالی که افت تجربی اندازه گیری شده برای نمونه های A و B در شکل 2(d) به ترتیب  $39,23\%$  و  $31,83\%$  در  $150 \text{ A / cm}^2$  است. علاوه بر این، مقادیر عرض کامل در نصف حداکثر (FWHM) از نظر چگالی جریان برای طیف EL نیز به صورت جزئی در شکل 2(d) نشان داده شده است. FWHM برای نمونه B کمی بزرگتر از این مقدار برای نمونه A است. با این حال، چنین تغییر کوچکی در مقادیر FWHM بین دو نمونه، استفاده از ساختار چاه کوانتومی پیشنهادی در بهبود عملکرد LED را لغو نخواهد کرد. از این رو، کاهش افت بهره وری برای نمونه B به نرخ های نوترکیبی Auger سرکوب شده در چاه های کوانتومی پیشنهادی نسبت داده می شود و جزئیات پس از آن مورد بحث قرار می گیرد. توجه داشته باشید که اختلاف جزئی بین نتایج محاسبه شده و اندازه گیری شده به احتمال زیاد به دلیل عدم قطعیت و اختلاف برای ارتباط بین پارامترهای شبیه سازی و چگالی درجه حرارت / حامل برای مواد نیتريد-III است. دیگرام های باند انرژی محاسبه شده برای نمونه های A و B در  $140 \text{ A / cm}^2$  در شکل 3(a) و 3(b) نشان داده است. شکل 3(a) به وضوح نشان می دهد که باند رسانش هر چاه کوانتومی به طور قابل توجهی کج شده است و الکترون ها به شدت به صورت موضعی در واسطه چاه کوانتومی و مانع کوانتومی تجمع یافته است که به طور منفی نرخ های نوترکیبی Auger درون چاه کوانتومی را ترویج می دهد. با این حال، باند رسانش چاه های کوانتومی در نمونه B به عنوان یک نتیجه از ترکیب InN به طور خطی کاهش یافته از  $0,15$  به  $0,08$  در هر چاه کوانتومی در طول جهت [001] رشد مسطح تر شده است. بنابراین، با توجه به همترازی تراز شبه فرمی الکترون و باند هدایت، می توانیم پیش بینی کنیم که الکترون ها به طور مساوی در سراسر ضخامت  $5$  نانومتر از هر چاه کوانتومی توزیع شده اند. در همین حال، زیرباندها برای توابع موج C1 و HH1 در شکل 3(a) و 3(b) نشان می دهیم. زیرباندهای

محاسبه شده در شکل (b) ۳ نشان می دهد که چگالی دو بعدی حالات حتی در چاه کوانتومی ضخیم تر B تشکیل می شود. همچنین ما بر این اساس، مشخصات غلظت الکترون در مناطق MQW محاسبه شده برای هر دو نمونه A و B در شکل ۴ را نشان می دهیم، که نشان می دهد که الکترون ها در چاه های کوانتومی برای نمونه B به طور یکنواخت در میان چاه های کوانتومی توزیع شده اند در حالی که الکترون های بیشتر در چاه کوانتومی / واسطه مانع کوانتومی برای نمونه A تجمع می یابند. یک توزیع الکترون همگن تر در چاه های کوانتومی برای نمونه B برای سرکوب نرخ های نوترکیبی Auger ضروری است، همانطور که بعداً نشان داده خواهد شد.



شکل ۲. (a) توان خروجی نوری محاسبه شده عددی و EQE، (b) EQW نرمالسازی شده محاسبه شده، (c) توان خروجی نوری اندازه گیری شده آزمایشی و EQE، و (d) EQE نرمالسازی شده اندازه گیری شده، همراه با FWHM از نظر چگالی جریان در آغاز.

شکل (a) ۵، نرخ های محاسبه شده نوترکیبی Auger (RAR) و نرخ های تابشی نوترکیبی (Rradi) در مناطق MQW برای هر دو نمونه های A و B به عنوان تابعی از چگالی جریان تزریق نشان می دهیم. با توجه به حجم

مناطق MQW برای نمونه های A و B، مقایسه RAR و Rradi متوسط معقول است. نرخ های نوترکیبی متوسط

(Raverage) به صورت  $R_{average} = \int_0^{t_{QW}} R(x) \times dx / \int_0^{t_{QW}} x \times dx$  تعریف می شود که R(X), نرخ های

نوترکیبی تابشی یا Auger در مکان های مختلف (X) در امتداد جهت گیری [۰۰۰۱] است در حالی که tQW,

ضخامت کل منطقه MQW است. در اینجا، مرحله یکپارچه سازی (DX) توسط محل مش تنظیم می شود که به

درستی در شبیه سازی های ما تنظیم شده اند. شکل  $\Delta(a)$  نشان می دهد که RAR با افزایش چگالی جریان برای هر

دوی نمونه ها افزایش می یابد و RAR برای نمونه B همیشه کوچکتر از نمونه A در طیف وسیعی از چگالی جریان

است. این نتیجه، اثربخشی ساختار پیشنهادی ما در سرکوب نوترکیبی Auger را نشان می دهد. علاوه بر این، RAR

از Rradi برای نمونه A در  $145 \text{ A / cm}^2$  سبقت می گیرد، که از تجمع الکترون قوی به صورت موضعی رخ می

دهد. حتی RAR قوی تر در نمونه A، علت ریشه ای توان نوری پایین تر و افت بهره وری بزرگتر در اشکال 2(a)-

2(d) است. با این وجود، RAR همیشه کوچکتر از Rradi در محدوده چگالی جریان برای نمونه B است همانطور که

در شکل (a) نشان داده است. از این رو، RAR برای نمونه B سرکوب می شود که مسئول افت بهره وری کاهش

یافته و توان خروجی نوری بهبود یافته در مقایسه با نمونه A است.

بررسی جزئیات تکاملی از نوترکیبی Auger نسبی و نوترکیبی تابشی از دو نمونه برای درک عمیق درک اصول

عملیاتی ساختار پیشنهادی ما ارزشمند است. نسبت های نرخ نوترکیبی Auger و نرخ نوترکیبی تابشی نمونه B به

نمونه A در شکل  $\Delta(b)$  نشان داده شده است. می توان دید که در محدوده چگالی جریان کم زیر  $75 \text{ A / cm}^2$ ,

نسبت  $R_{AR}(B) / R_{AR}(A)$  کوچکتر از واحد است اما با چگالی جریان افزایش می یابد. این را می توان از این

واقعیت درک نمود که نرخ نوترکیبی Auger نمونه B با توجه به چگالی الکترونی کاهش یافته در ساختار

پیشنهادی، به طور کلی کمتر از این مقدار در نمونه A می باشد. با این حال، با افزایش چگالی جریان، گسترش

الکترون ها و حفره ها در نمونه A به طور قابل توجه تر نسبت به نمونه B افزایش می یابد. بنابراین، افزایش نرخ

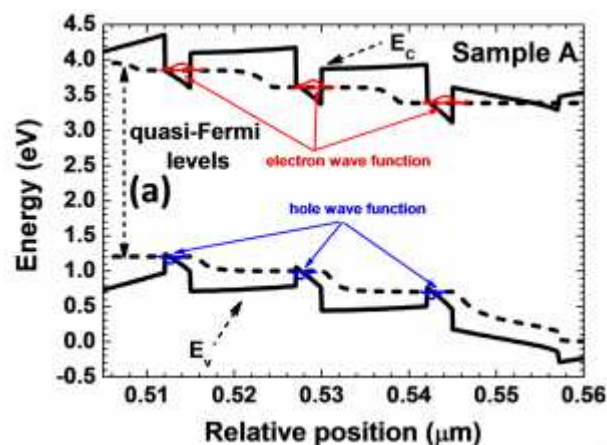
نوترکیبی Auger در نمونه A آهسته تر از این مقوله در نمونه B است. از سوی دیگر، بالاتر از چگالی جریان  $A /$

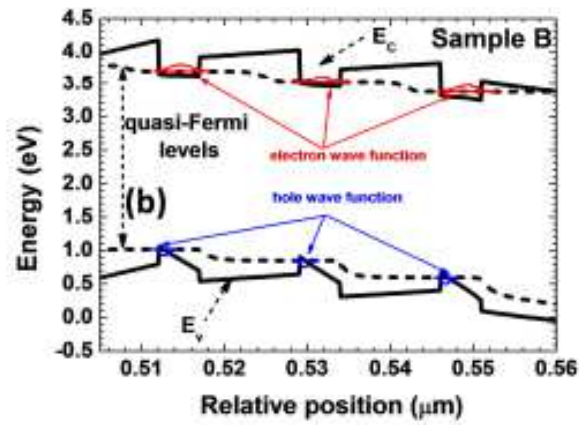
$75 \text{ cm}^2$ ، با توجه به ضخامت نازک نمونه A، گسترش الکترونها و حفره ها به یک حد می رسد و چگالی حامل



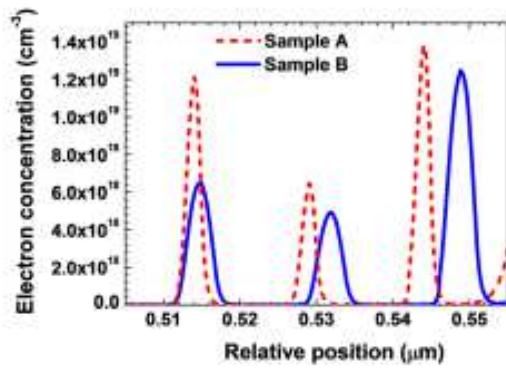
شروع به افزایش سریع می نماید که منجر به افزایش سریع نوترکیبی Auger می شود. این رفتار کاهش  $R_{AR}(B)/R_{AR}(A)$  بالاتر از  $75 \text{ A/cm}^2$  را توضیح می دهد. باید اشاره کرد که کاهش نسبی نرخ نوترکیبی Auger به افزایش نرخ نسبی نوترکیبی تابشی نمونه های A و B که در شکل 5(b) در محدوده چگالی جریان بالای  $75 \text{ A/cm}^2$  نشان داده شده است مرتبط نمی شود. این می تواند توسط نشتی جریان شدیدتر در نمونه B ناشی شد، زیرا ارتفاع سد باند هدایت موثر برای الکترون ها با توجه به جبران باند انرژی کاهش یافته در واسطه  $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}/\text{GaN}$  کاهش یافته است. از این رو، برای سرکوب هر دو سطح نشت الکترون و نوترکیبی Auger به طور همزمان، افزایش متوسط ترکیب InN توسط افزایش صحیح سطح درجه بندی InN در چاه کوانتومی که در نمونه B نشان داده است، ممکن است.

به طور خلاصه، نشان داده شده است که نوترکیبی Auger به طور قابل ملاحظه ای از طریق تغییر خطی مختلف ترکیب InN در امتداد جهت گیری رشد [0001] در چاه های کوانتومی و افزایش ضخامت چاه کوانتومی برای LED های  $\text{InGaN}/\text{GaN}$  کاهش می یابد. کاهش در نوترکیبی Auger توسط توزیع مساوی مشخصات الکترون درون چاه های کوانتومی گسترده تر میسر می شود که به نوبه خود باعث کاهش چگالی الکترونی در سطوح جریان تزریق بالا می شود. با ساختار چاه کوانتومی پیشنهادی تعبیه شده در  $\text{InGaN}/\text{GaN}$  LED، یک سطح بهبود یافته از توان خروجی نوری و افت بهره وری کاهش یافته از نظر عددی و تجربی در این کار به دست آمده است. چاه های کوانتومی  $\text{InGaN}/\text{GaN}$  با ترکیب InN به طور خطی درجه بندی شده، برای دستیابی به LED های  $\text{InGaN}/\text{GaN}$  با عملکرد عالی نویدبخش است.

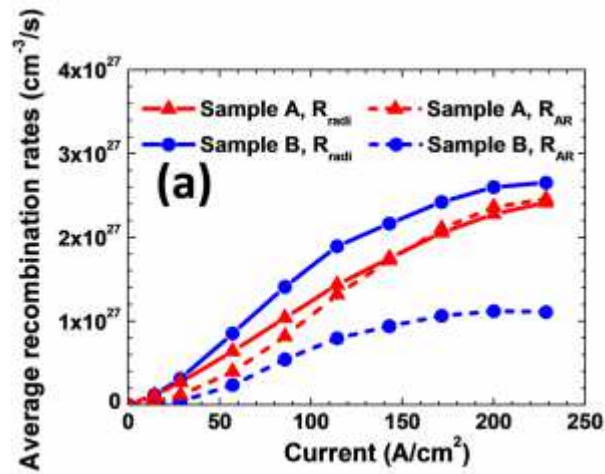


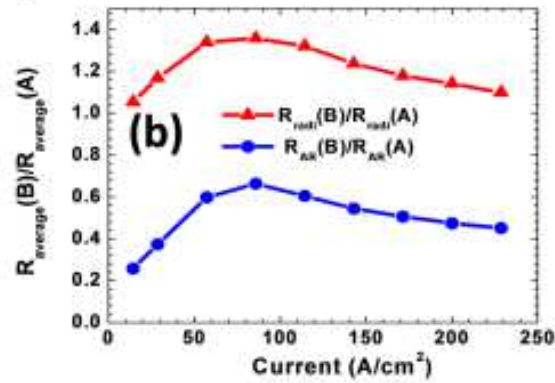


شکل ۳ .



شکل ۴ .





شکل ۵.

<sup>1</sup>S. T. Tan, X. W. Sun, H. V. Demir, and S. P. Denbaars, *IEEE Photonics J.* **4**, 613–619 (2012).

<sup>2</sup>V. Avrutin, S. d. A. Hafiz, F. Zhang, Ü. Özgür, H. Morkoç, and A. Matulionis, *J. Vac. Sci. Technol., A* **31**, 050809 (2013).

<sup>3</sup>Z.-H. Zhang, W. Liu, S. T. Tan, Z. Ju, Y. Ji, Z. Kyaw, X. Zhang, N. Hasanov, B. Zhu, S. Lu, Y. Zhang, X. W. Sun, and H. V. Demir, *Opt. Express* **22**, A779–A789 (2014).

<sup>4</sup>G. Verzellesi, D. Saguanti, M. Meneghini, F. Bertazzi, M. Goano, G. Meneghesso, and E. Zanoni, *J. Appl. Phys.* **114**, 071101 (2013).

<sup>5</sup>J. Hader, J. V. Moloney, and S. W. Koch, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 221106 (2010).

<sup>6</sup>E. Kioupakis, P. Rinke, K. T. Delaney, and C. G. Van de Walle, *Appl. Phys. Lett.* **98**, 161107 (2011).

<sup>7</sup>Z.-H. Zhang, S. T. Tan, Z. Kyaw, Y. Ji, W. Liu, Z. Ju, N. Hasanov, X. Wei Sun, and H. V. Demir, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 193508 (2013).

<sup>8</sup>S.-C. Ling, T.-C. Lu, S.-P. Chang, J.-R. Chen, H.-C. Kuo, and S.-C. Wang, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 231101 (2010).

<sup>9</sup>A. E. Romanov, T. J. Baker, S. Nakamura, J. S. Speck, and E. J. U. Group, *J. Appl. Phys.* **100**, 023522 (2006).

<sup>10</sup>J.-Y. Chang, F.-M. Chen, Y.-K. Kuo, Y.-H. Shih, J.-K. Sheu, W.-C. Lai, and H. Liu, *Opt. Lett.* **38**, 3158–3161 (2013).

<sup>11</sup>Z.-H. Zhang, S. T. Tan, J. Zhengang, L. Wei, J. Yun, Z. Kyaw, Y. Dikme, X. W. Sun, and H. V. Demir, *J. Disp. Technol.* **9**, 226–233 (2013).

<sup>12</sup>Z.-H. Zhang, S. T. Tan, W. Liu, Z. Ju, K. Zheng, Z. Kyaw, Y. Ji, N. Hasanov, X. W. Sun, and H. V. Demir, *Opt. Express* **21**, 4958–4969 (2013).

<sup>13</sup>Z.-H. Zhang, S. T. Tan, Y. Ji, W. Liu, Z. Ju, Z. Kyaw, X. W. Sun, and H. V. Demir, *Opt. Express* **21**, 15676–15685 (2013).

<sup>14</sup>Y. Ji, Z.-H. Zhang, Z. Kyaw, S. T. Tan, Z. G. Ju, X. L. Zhang, W. Liu, X. W. Sun, and H. V. Demir, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 053512 (2013).

<sup>15</sup>Z. G. Ju, W. Liu, Z.-H. Zhang, S. T. Tan, Y. Ji, Z. B. Kyaw, X. L. Zhang, S. P. Lu, Y. P. Zhang, B. B. Zhu, N. Hasanov, X. W. Sun, and H. V. Demir, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 243504 (2013).

<sup>16</sup>V. Fiorentini, F. Bernardini, and O. Ambacher, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 1204–1206 (2002).

<sup>17</sup>Z.-H. Zhang, S. Tiam Tan, Z. Kyaw, W. Liu, Y. Ji, Z. Ju, X. Zhang, X. Wei Sun, and H. V. Demir, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 263501 (2013).

<sup>18</sup>E. Kioupakis, Q. Yan, and C. G. Van de Walle, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 231107 (2012).

<sup>19</sup>J. Piprek and Z. M. S. Li, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 131103 (2013).

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی