

باز ترکیب اکسیتون های جایگزیده در نانوساختارهای چاه کوانتومی بدون آرایش گالیم نیتراید

صابونی ، محمود^۱؛ هراتی زاده ، حمید^۲؛ مونمار، بو^۳

گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران

^۲دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود ، بلوار دانشگاه ، شاهرود ، ایران

^۳انستیتوی فیزیک و تکنولوژی سنچس دانشگاه لینشوپینگ، لینشوپینگ، سوئد.

چکیده

این مقاله بر پایه اندازه گیری های آزمایشگاهی توسط روش مشخصه یابی فتولومینسانس و فتولومینسانس وابسته به زمان قرار دارد. وابستگی دمایی *S-Shape* پیک منحنی فتولومینسانس بیانگر باز ترکیب از حالت های جایگزیده در دماهای پایین می باشد. همچنین مطالعات وابسته به زمان نشان دهنده شیفت پیک منحنی فتولومینسانس در طی زمان است. با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و محاسبات تئوری میدان پیزوالکتریک در نمونه چاه کوانتومی با پهنای ۳nm در حدود ۴۸ MV/m تخمین زده می شود.

Localized excitonic recombination in undoped GaN quantum well nanostructures

Sabooni, Mahmood¹; Haratizadeh, Hamid²; Monemar, Bo³

¹Physics Department, Azad University of Shahrood, Shahrood, Iran

¹Physics Department, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Department of Physics and Measurements Technology, Linkoping University, Linkoping, Sweden

Abstract

The paper is mainly based on experimental investigations by using a combination of photoluminescence (PL) and time resolved photo-luminescence (TRPL) techniques. A pronounced "S-shape" temperature dependence is observed for emission peak of all samples implying a recombination from localized states at low temperature. The time-resolved PL spectra of the 3 nm well MQWs reveal that the spectral peak position shifts toward lower energies as the decay time increases and becomes red-shifted at longer decay times. By comparing experimental and calculation results, we have obtained a low limit of the piezoelectric field strength to be about 48 MV/m in the 3 nm well GaN/Al_{0.07}Ga_{0.93}N MQWs
PACS No. 78, 73

روش آزمایشگاهی و نمونه ها

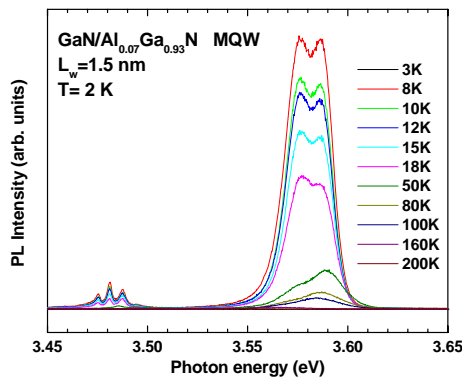
نمونه های مورد مطالعه، چاه های کوانتومی چندگانه GaN/AlGaIn بدون آرایش می باشند، که تمام خصوصیات ساختاری و شرایط رشد آنها مشابه بوده و تنها تفاوت آنها در پهنای چاه می باشد. این نمونه ها در راستای [۰۰۰۱] روی زیر لایه اکسید آلومینیوم (Al₂O₃) به روش رسوب بخار شیمیایی (MOCVD) رشد داده شده اند. روی زیر لایه فوق یک لایه AlN به ضخامت ۲۰nm در دمای پایین و یک لایه نسبتاً ضخیم

مقدمه

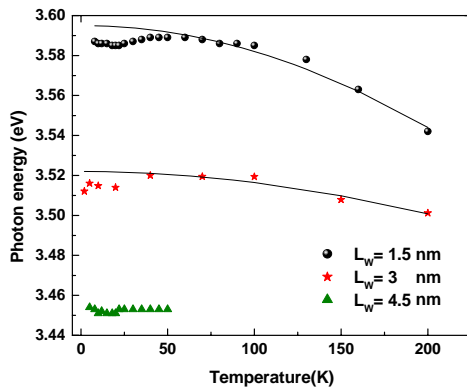
قطبش ساختارهای ورتسایت یکی از مسائل مهم پیش روی محققان در ساخت نانوساختارهای بر پایه نیم رساناهای نیتروژن دار (گروه III-Nitride) بوده است. در چاه های کوانتومی از ۱ تا ۱۰ نانومتر از جنس GaN/AlGaIn و InGaIn/GaN همیشه میل به انرژی های کمتر در طی زمان باعث پهن شدن قله فتولومینسانس می گردد [۱]. این فرآیندها گاهی با کاهش Oscillator Strength و افزایش زمان واهلش همراه می گردد. تمامی این آثار ما را بوجود میدان داخلی بسیار قوی در این نانوساختارها رهنمون می کند که در نهایت منجر به اثر محدودیت کوانتومی استارک می گردد [۲].

در حدود 20 meV نسبت به GaN بافر روی می دهد و در نهایت درمورد نمونه با عرض چاه کوانتمی $4/5\text{ nm}$ شیفتهی به میزان 30 meV تا 60 meV بسمت انرژی های کمتر(قرمز) مشاهده می گردد. منشا این جابجایی را می توان به محدودیت کوانتمی نسبت داد که پس از بررسی دینامیکی فرآیندهای بازترکیب می توان آنرا به نحو شایسته تری توضیح داد.

مشاهده پیک های LO-Phonon در نمودارهای موجود در شکل (۱) ما را به نقش اکسیتون های جایگزیده در بازترکیب های انجام شده رهنمون می سازد زیرا رد تمام این Lo-Phonon ها در محدوده 92 meV نسبت به منحنی فتولومینسانس قرارداد[۳].



شکل ۲: طیف فتولومینسانس نمونه بدون آرایش چاه کوانتمی GaN/AlGaIn با عرض $1/5\text{ nm}$ در دماهای مختلف



شکل ۳: وابستگی دمایی قله منحنی فتولومینسانس برای چاههای کوانتمی GaN/AlGaIn با عرض $1/5\text{ nm}$, 3 nm , $4/5\text{ nm}$

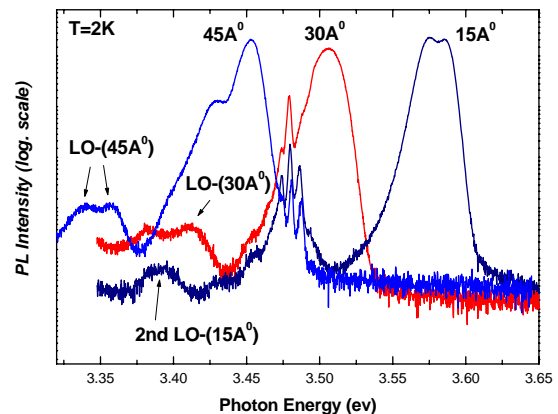
طیف گسیلی حاصل از نمونه چاه کوانتمی با پهنا $1/5\text{ nm}$ را در دماهای مختلف می توان در شکل (۲) مورد بررسی قرارداد. در این شکل دو پیک در انرژی های $3/57\text{ meV}$ و $3/58\text{ meV}$ در دمای 2 K مشاهده می شود. با افزایش دما شدت پیک با انرژی بالاتر

از GaN کپه ای بدون آرایش به ضخامت تقریبی $2\text{ }\mu\text{m}$ میکرون رشد داده شده است. به روی لایه GaN ناحیه فعال متشکل از پنج لایه متناوب از چاه و سد رشد داده شده است.

چاه ها از ماده GaN با پهناهای متفاوت $1/5\text{ nm}$, 3 nm و $4/5\text{ nm}$ در نمونه های مختلف هستند و سدها از ماده AlGaIn با درصد Al و درصد Ga, دارای ضخامت تقریبی 7 nm و 93% درصد Al و 7% درصد Ga, برای آزمایش های فتولومینسانس وابسته به زمان از هارمونیک سوم لیزر پالسی Ti:Sapphire با طول موج 266 nm به عنوان منبع تحریک کننده و برای آشکارسازی سیگنال های وابسته به زمان فتولومینسانس از سینکرواسکن هاماماتسو استفاده شده است. تمامی آزمایش ها در دمای هلیوم مایع (2 K) انجام شده است.

نتایج و بحث

در شکل (۱) طیف فتولومینسانس سه نمونه چاه کوانتمی GaN/AlGaIn با ضخامت های متفاوت از $1/5$, 3 تا $4/5$ نانومتر مشاهده می شود. در ضمن پیک سه گانه ای که مربوط به GaN لایه بافر می باشد نیز در انرژی حدود $3/475\text{ eV}$ که حاصل از بازترکیب اکسیتون های A, B, C. در دمای 2 K است, مشاهده می گردد. پیک دوگانه نمونه چاه با عرض $1/5\text{ nm}$ در حدود 90 meV تا 100 meV به سمت انرژی های بالاتر(آبی) میل پیدا می کند.



شکل ۱: طیف فتولومینسانس چاههای کوانتمی GaN/AlGaIn با عرض چاه $1/5\text{ nm}$, 3 nm , $4/5\text{ nm}$ در دمای 2 K

. این در حالیست که شیفتهی موردنظر در مورد نمونه 3 nm

گردد. با افزودن آرایش می توان این تغییرات را از بین برد. این مسئله در نمونه های با آرایش سیلیکونی اضافه شده در سد مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج آن انتشار یافته است [۵]. در نهایت با مقایسه میزان شیفت منحنی فتولومینسانس در طی زمان می توان به میزان میدان اعمالی بر نمونه چاه کوانتمی با پهنا 3nm پرداخت که نتایج مذکور با محاسبات تئوری [۶] که این مقدار را در حدود 48MV/m تخمین می زند، هماهنگی خوبی دارد.

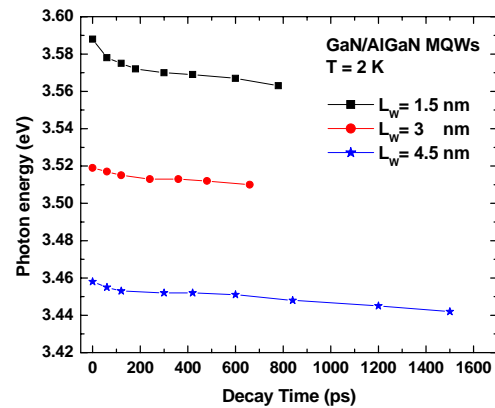
نتیجه گیری

از مطالعه طیف فتولومینسانس دمای پایین (2K) در نمونه های باعرض چاه کوانتمی $1/5\text{nm}$ و 3nm انتقال قله فتولومینسانس بسمت انرژی های بالاتر مشاهده شد در حالیکه برای نمونه با عرض چاه $4/5\text{nm}$ انتقال بسمت انرژی های کمتر از انرژی مربوط به GaN بافر مشاهده شد. مطالعه دینامیک این فرآیندها ما را بوجود اکسیتون های جایگزیده در تمامی نمونه ها رهنمون نمود. از طرفی با مشاهده رفتار S-Shape در مطالعات دمایی انرژی جایگزیدگی برای تمام نمونه ها در حدود 10meV بدست آمد.

مرجع ها

- [۱] M. Leroux, N. Grandjean, M. Laugt, J. Massies, B. Gil, P. Lefebvre, and P. Bigenwald, Phys. Rev. B **58**, R13 371 (1998).
 [۲] A. Bykhovski, B. Gelmont, and M. Shur, Appl. Phys. Lett. **63**, 2243 (1993).
 [۳] P. P. Paskov, P. O. Holtz, B. Monemar, S. Kamiyama, M. Iwaya, H. Amano, and I. akasaki, Phys. Stat. Sol. (b) **234**, 755 (2002).
 [۴] Y. P. Varshni, Physics **34**, 149 (1967).
 [۵] H. Haratizadeh, B. Monemar, P. P. Paskov, P. O. Holtz, G. Pozina, S. Kamiyama, M. Iwaya, H. Amano, and I. Akasaki, Phys. Stat. Sol. (b), **1** (2004).
 [6] B. Monemar, H. Haratizadeh, P. P. Paskov, G. Pozina, P. O. Holtz, J. P. Bergman, S. Kamiyama, M. Iwaya, H. Amano, and I. Akasaki, Phys. Stat. Sol (b) **237**, 353 (2003).

نقش غالب را برعهده می گیرد که آن را می توان به غلبه گذارهای با انرژی بالاتر در دماهای بالاتر ($T=200\text{K}$) نسبت داد. در شکل (۳) تغییرات پیک منحنی فتولومینسانس برحسب دما برای نمونه های با چاه های با عرض متفاوت رسم شده است. با مقایسه داده های مذکور با معادله تجربی ورشنی [۴] (که بصورت خطوط تیره در شکل دیده می شود) و با توجه به تغییرات S-Shape آن منحنی می توان انرژی جایگزیدگی را برای تمام نمونه ها در حدود 10meV تخمین زد.



شکل ۴: تغییرات زمان واهلش قله فتولومینسانس برای چاههای کوانتمی GaN/AlGaIn با پهنا $1/5\text{nm}$, 3nm , $4/5\text{nm}$ دمای 2K

با مطالعه تغییرات قله منحنی فتولومینسانس در طی زمان واهلش برای تمام نمونه های بدون آرایش با پهناهای چاه مختلف که در شکل (۴) نشان داده شده است، می توان به وابستگی محل قله فتولومینسانس به میدان داخلی در چاههای کوانتمی پی برد. همانطور که می دانید بخاطر عدم تناسب لایه های GaN و AlGaIn یک میدان پیژوالکتریک ثابت در این ساختارها ایجاد می شود. تحت تاثیر این میدان پیژوالکتریک، انتهای چاه های کوانتمی دارای انحنای شده و طبق اثر کوانتمی استارک ترازهای رسانش و ظرفیت به یکدیگر نزدیکتر شده و قله فتولومینسانس به سمت انرژی های کمتر (قرمز) میل پیدا می کند. این در حالیست که حضور بارها می تواند این میدان را استتار نماید. حال با گذر زمان، تعداد حامل های نوری بتدریج کاهش می یابد و باعث افزایش شدت میدان اعمالی بر چاه کوانتمی و در نهایت بروز اثر استارک و میل قله منحنی فتولومینسانس بسمت انرژی های کمتر (قرمز) می