



سمینار درس الکترونیک نوری

استاد : جناب آقای دکتر محمد نژاد

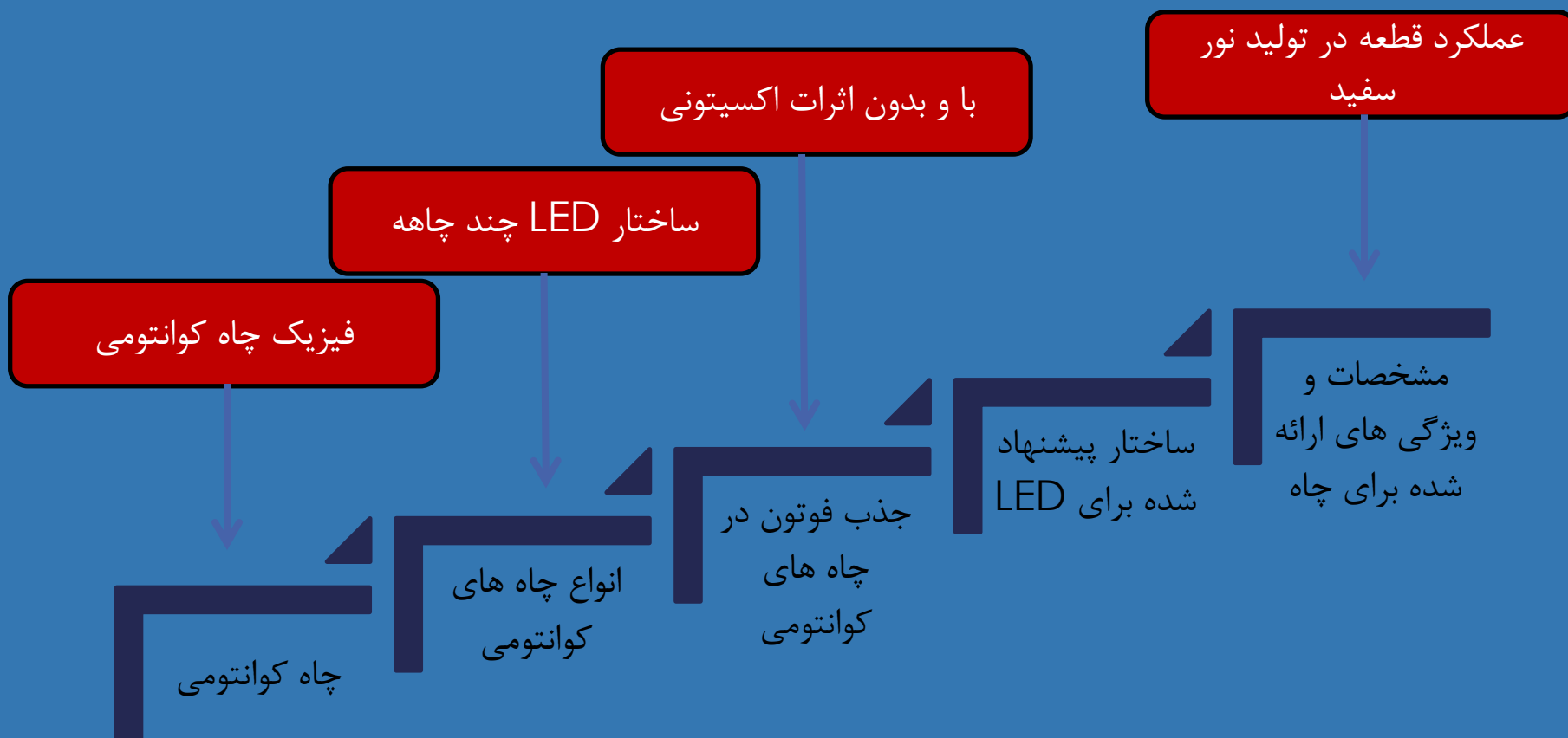


مرکز تحقیقاتی نانوپترونیکس

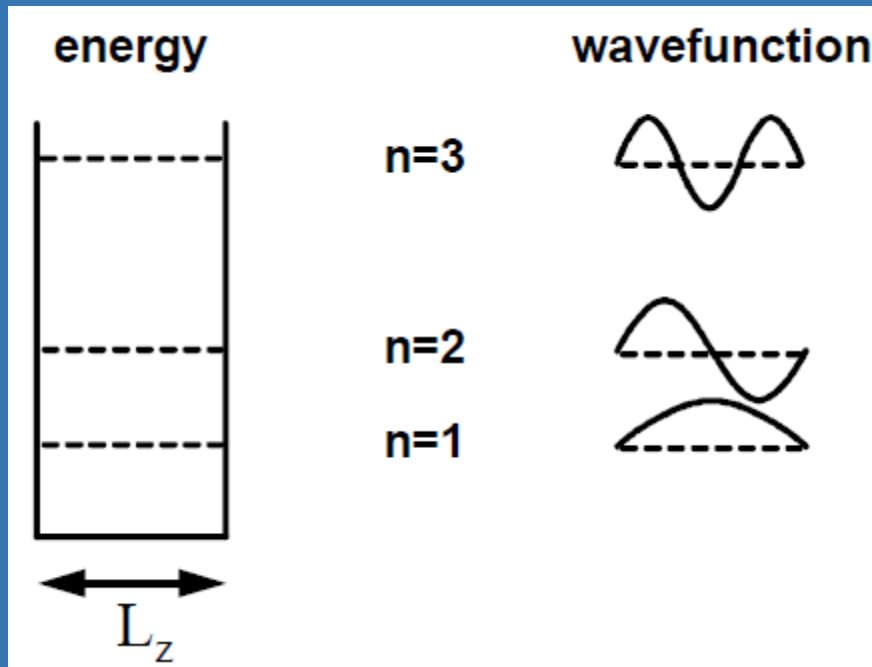
طراحی LED های نورسفید با استفاده از چاه های
کوانتومی

**DESIGN OF WHITE LEDS USING QUANTUM
WELLS**

سازماندهی



چاه کوانتومی بی نهایت



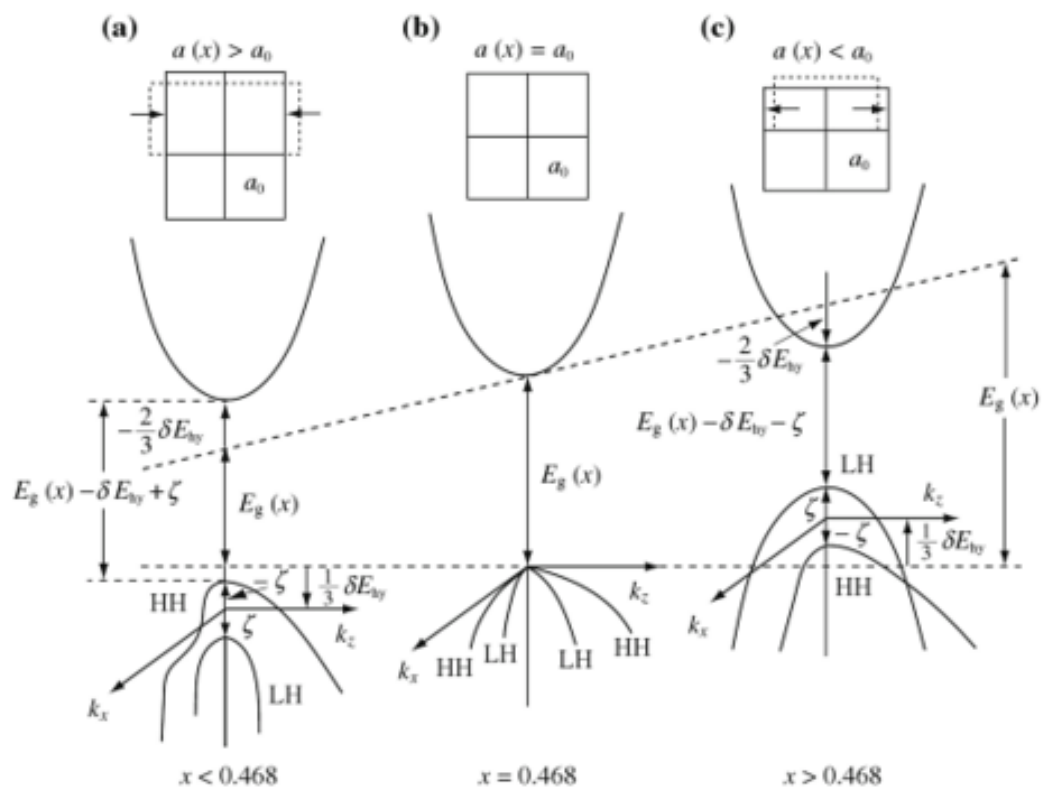
$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \phi_n}{dz^2} + V(z) \phi_n = E_n \phi_n$$

$$E_n = \frac{-\hbar^2}{2m} \left[\frac{n\pi}{L_z} \right]^2 \quad n = 1, 2, \dots$$

$$\phi_n = A \sin\left(\frac{n\pi z}{L_z}\right)$$

چاه کوانتومی بی نهایت و توابع موج متناظر

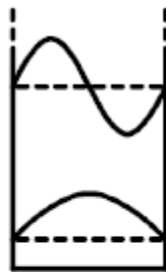
انواع زیر باندهایی که در جذب و گسیل شرکت می کنند.



- تراز های انرژی برای تمام زیرباندهای ممکن وجود دارد، فقط ممکن است فاصله ی آنها کم یا زیاد شوند. برای مثال فاصله ی تراز های انرژی کوانتومی زیر باند HH بسیار کم می باشد.

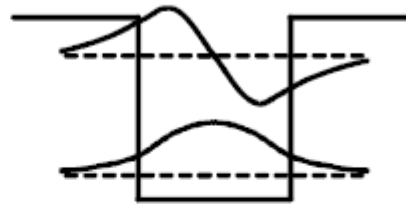
انواع چاه های کوانتومی

"infinite" quantum well



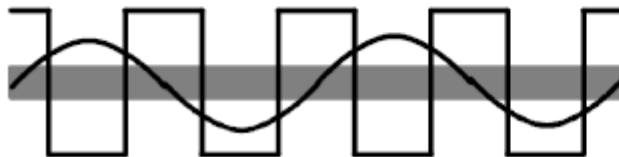
"particle
in a box"

finite quantum well



particle in a
box +
"tunneling"
penetration

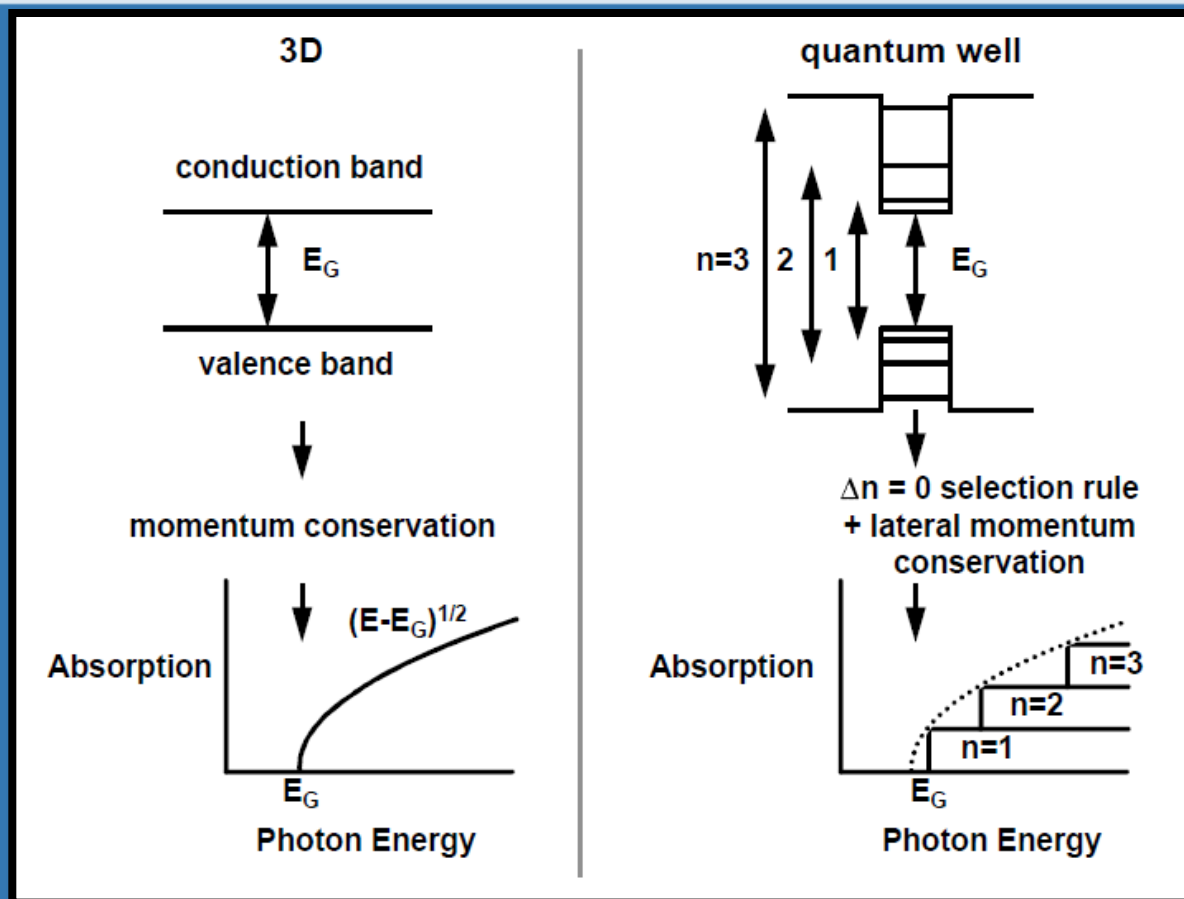
superlattice



wells so close that
wavefunctions couple to
give "minibands"

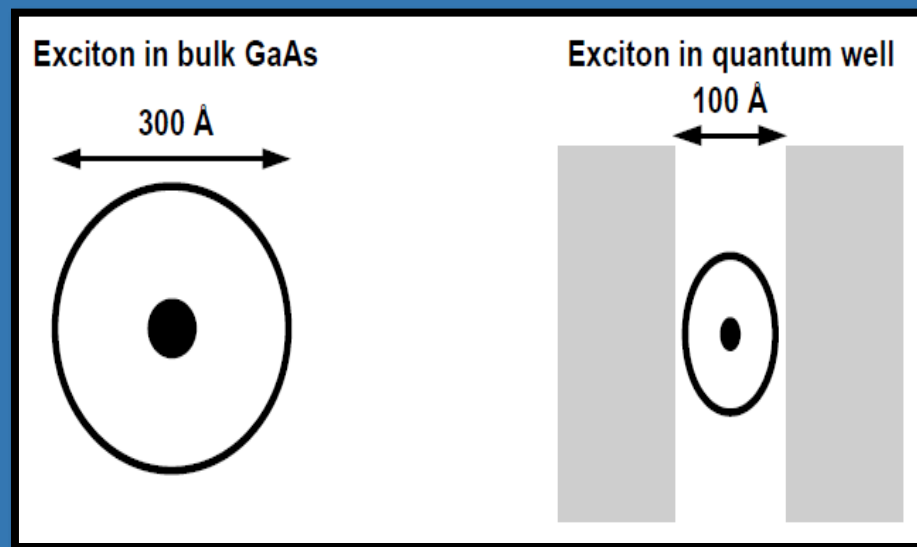
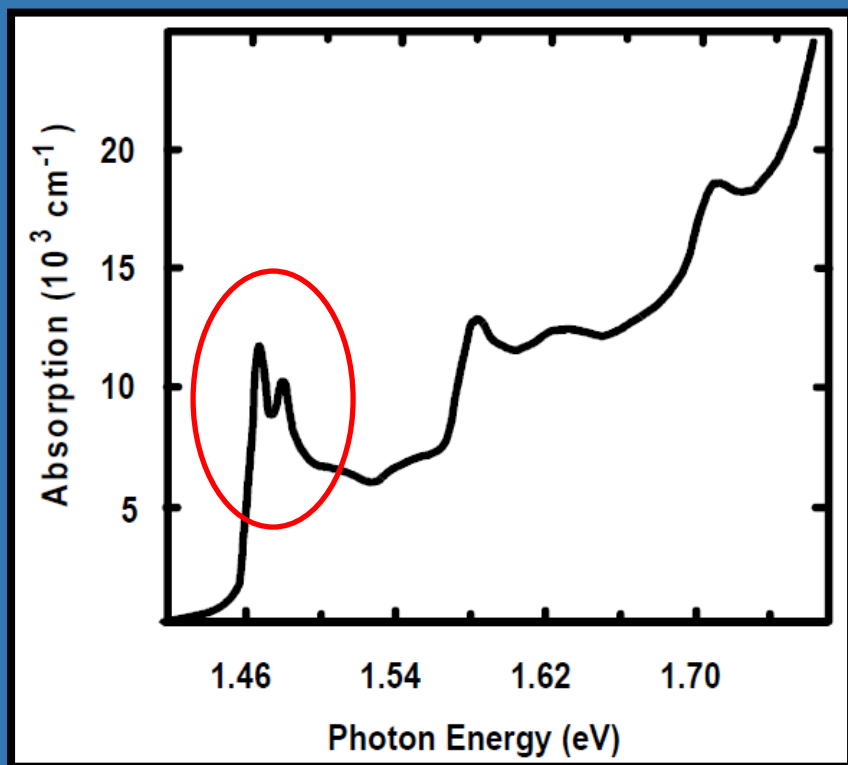
مقایسه ی چاه کوانتومی بی نهایت، چاه
کوانتومی محدود و ابر شبکه

جذب فوتون در چاه کوانتومی



جذب نوری در ماده ی حجمی و چاه کوانتومی
با صرف نظر کردن اثرات اکسیتونی

چرا جذب اکسیتونی در چاه کوانتومی مهم تر از ماده ی حجمی است؟ (اثر محدود شدگی استارک)



مقایسه ی شکل و اندازه ی اکسیتون حجمی و اکسیتون در چاه کوانتومی

جذب نوری در چاه کوانتومی با در نظر گرفتن اثرات اکسیتونی (نزدیک گاف انرژی این اثر مشهودتر است)

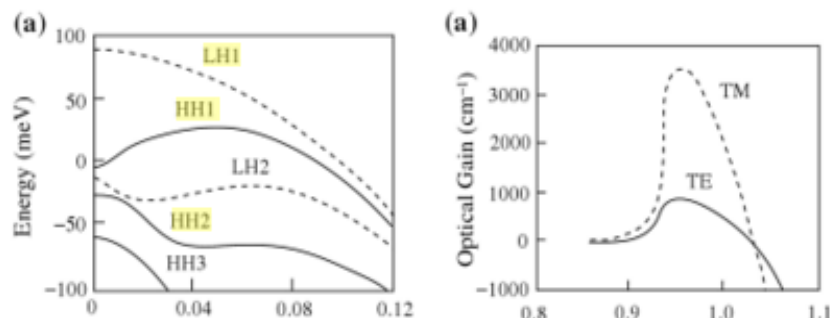
میدان های خود به خودی و پیزوالکتریک

- پلاریزاسیون خوبخودی به دلیل یر ایده آل بودن ساختار های نیتریدی، سبب یک شیفت نسبی آنیون ها و کاتیون ها در طول محور رشد شده و ایجاد یک گشتاور دو قطبی غیر صفر و در نتیجه یک میدان خوبخودی قوی می شود.
- در فرآیند رشد به دلیل قرار گرفتن لایه های مختلف بر روی هم و عدم یکسان بودن ثابت های شبکه لایه های مختلف (چاه و سد)، یک گشتاور دوقطبی علاوه بر گشتاور ناشی از پلاریزاسیون خود بخودی ایجاد می گردد که میدان پیزوالکتریک نام دارد.
- در حل معادله ی موج شرودینگر اثر هر دو میدان بالا باید در نظر گرفته شود.

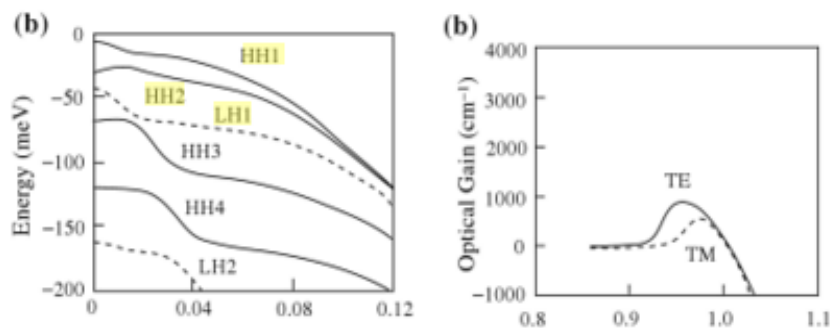
میدان های خود به خودی و پیزوالکتریک

تاثیر میزان انطباق ثوابت شبکه بر توزیع زیر باند ها و گین نوری

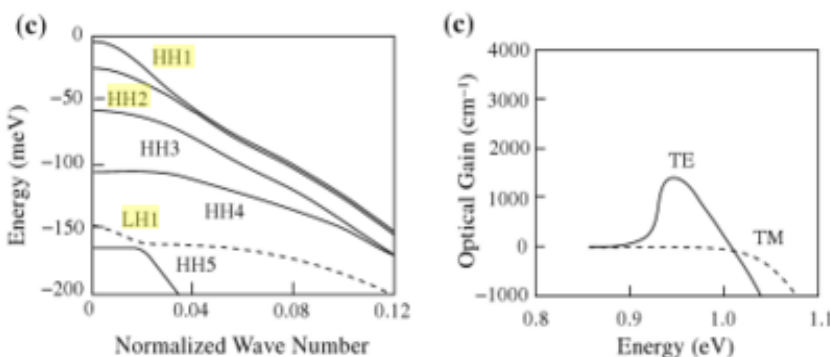
(a) کرنش (strain) کششی ۱،۹٪:



(b) ثوابت شبکه با هم همخوانی دارند.

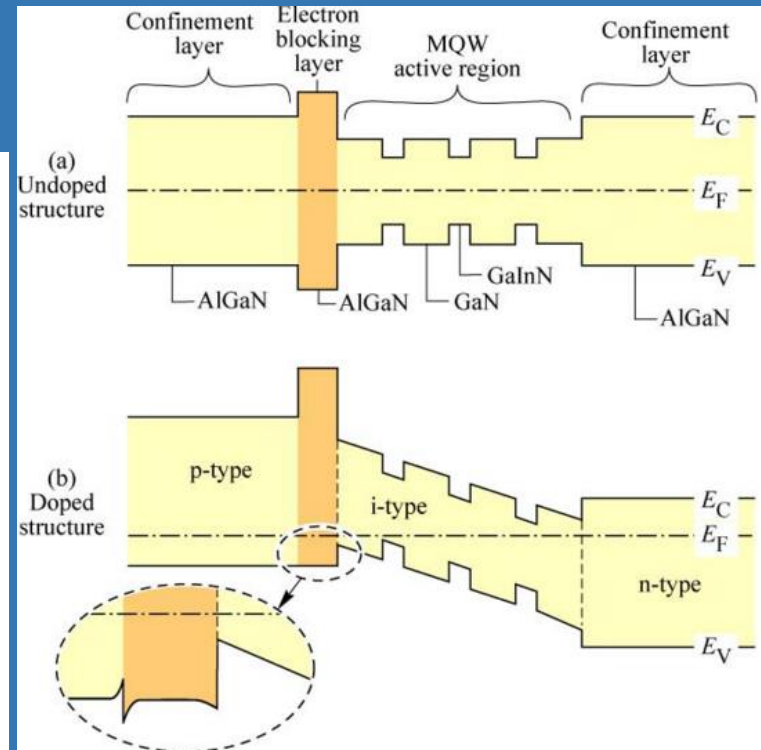
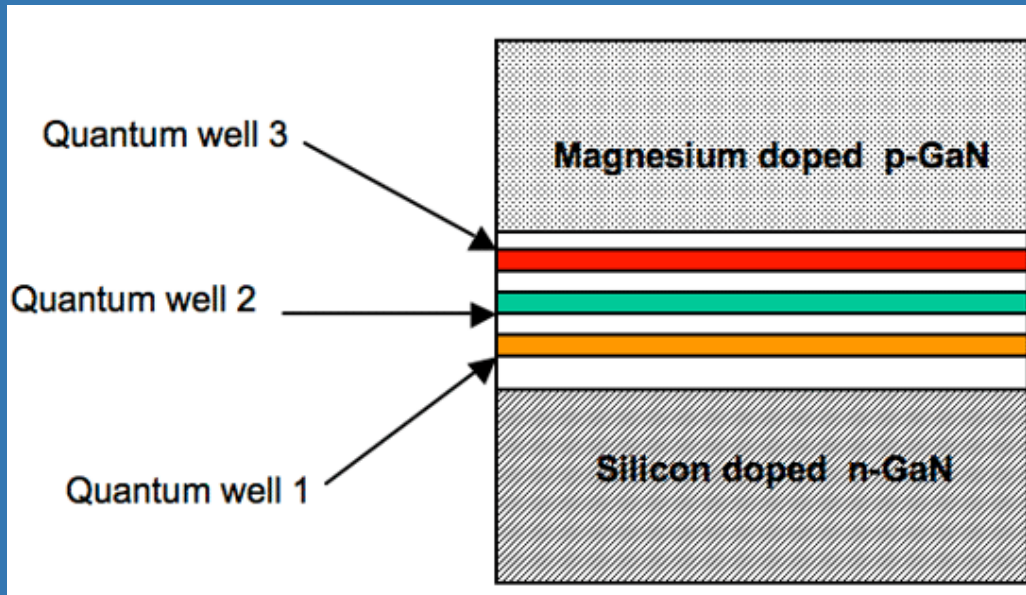


(c) کرنش (strain) فشاری ۱،۴٪:



روش تولید نور سفید

ساختارهای گروه III-N بدلیل دارا بودن گاف انرژی در محدوده ی نور مرئی به صورت گسترده ای در تولید LED ها مورد استفاده قرار گرفته اند. ساختار پیشنهادی تولید همزمان نور سبز ، قرمز و آبی می باشد.



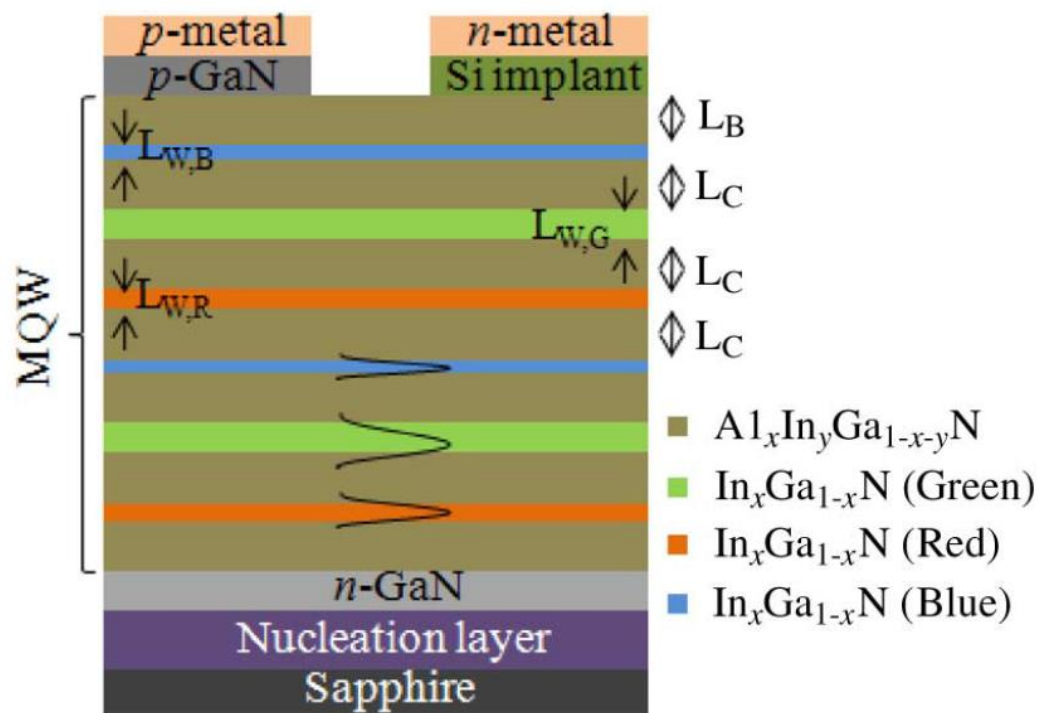
ماده ی مورد استفاده در تولید LED با نور سفید

- ماده ی چاه کوانتومی باید دارای گاف انرژی در محدوده ی نور مرئی یعنی ۱.۹ تا ۲.۸ الکترون ولت باشد.
- برای تولید نور سفید استفاده از ترکیبات نیتریدی رایج می باشد. (Al,Ga)N
- اما گاف انرژی این ماده برای تولید نور قرمز بسیار زیاد می باشد. به همین دلیل از ترکیبات ایندیم $In_xGa_{1-x}N$ برای ایجاد چاه کوانتومی استفاده می شود.
- رابطه ی زیر برای انرژی گاف $In_xGa_{1-x}N$ پیشنهاد شده است:

$$E_g^{InGaN}(x) = xE_g^{InN} + (1 - x)E_g^{GaN} - x\beta(x)(1 - x)$$

$$\beta(x) = \begin{cases} 3.8 & , x \leq 0.2 \\ 2.4 & , 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ 1.4 & , 0.3 \leq x \leq 0.5 \end{cases}$$

ساختار پیشنهادی LED



- تولید هر سه نور تشکیل دهنده ی نور قرمز ، سبز و آبی به طوری که شدت هر سه نور یکسان باشند.

- طول سد به گونه ای انتخاب می شود که معادله ی موج چاه ها با هم هم پوشانی نداشته باشند.

- ساختار قائم مشکل تجمع باربرها در سمت P ساختار عرضی را بر طرف می کند.

مدل پیشنهادی چاه کوانتومی برای تولید نور سفید

مشخصات چاه و سد

- برای تعیین مشخصات سد باید به دو مورد توجه کنیم :

۱- اثر استارک :

جزئیات ارائه شده LED مبتنی بر چاه کوانتومی باید دارای سه پیک در محدوده ی نور مرئی باشد. مشخصات سد/چاه طوری در نظر گرفته می شود که میدان های پیزوالکتریک با میدان های خود بخودی خنثی شده و میدان داخلی چاه منعکس کننده ی نور سبز منجر به یک پتانسیل صاف شود. سپس می توان با استفاده از اثر استارک نورهای آبی و قرمز را تولید کرد.

۲- همپوشانی توابع موج الکترون ها و حفره ها :

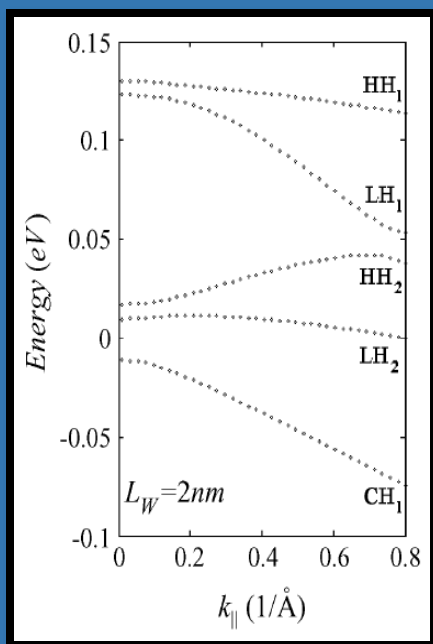
اگر $F_i * L_w$ نزدیک ΔE_g (تفاوت گاف انرژی سد و چاه) باشد، همپوشانی توابع موج الکترون ها و حفره ها کاهش می یابد و بهره ی نوری کاهش می یابد.

مزایای استفاده از $AlInGaN$ به جای GaN به عنوان سد

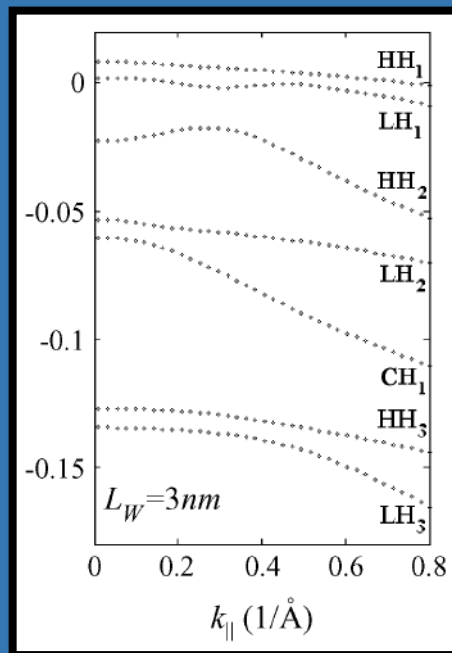
- به طور سنتی از ساختار $InGaN / GaN$ استفاده شده است. اما این ساختار دارای مشکلاتی است:
- بدلیل عدم تطبیق ثوابت شبکه ی آنها میدان های استرینی زیادی در دیود ایجاد می شود.
- ثانیاً حداکثر ضخامت چاه h_c رابطه ی معکوس با میدان استرینی و محتوای In دارد. بنابراین استفاده از یک لایه ی GaN ضخیم علاوه بر افزایش عمق چاه باعث کاهش ضخامت چاه به مقادیر غیر قابل قبول می شود.



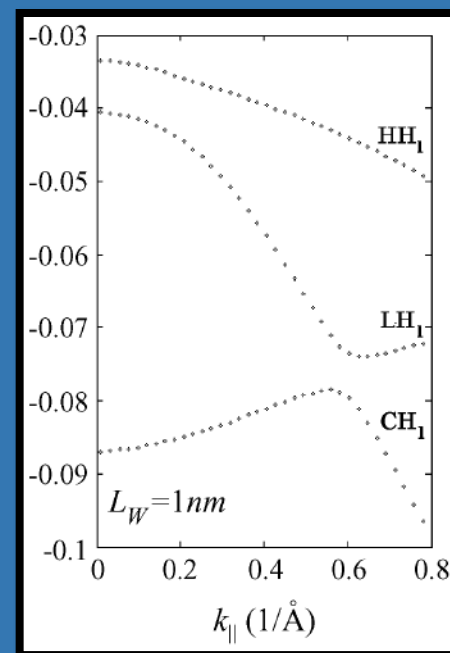
ساختار زیر باندهای تولید نور قرمز، سبز و آبی



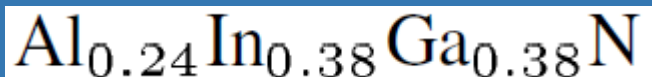
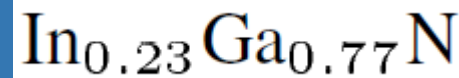
چاه تابنده ی قرمز



چاه تابنده ی سبز



چاه تابنده ی آبی



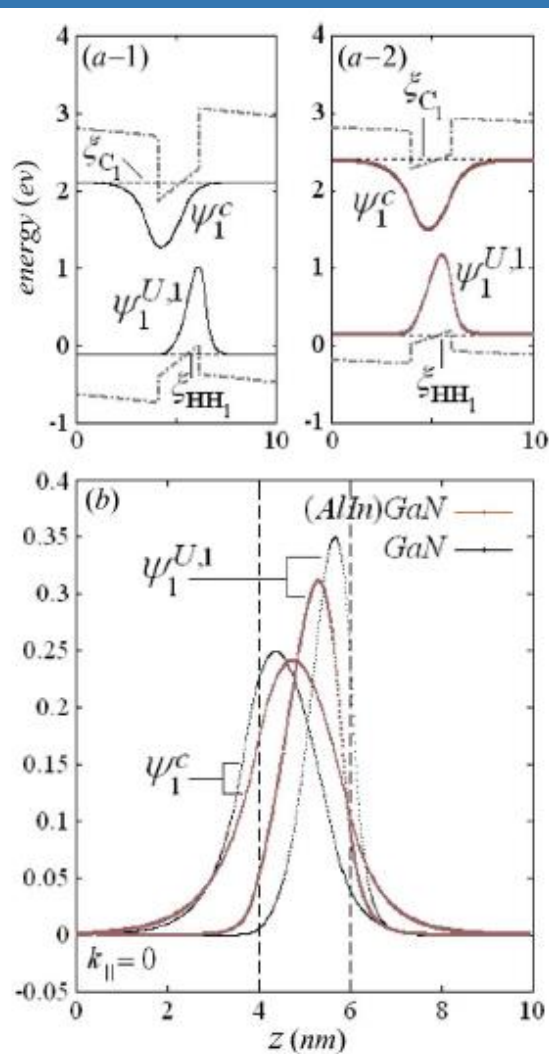
سد با طول ۱۶ نانو متر

مقایسه ی GaN و $(AlIn)GaN$

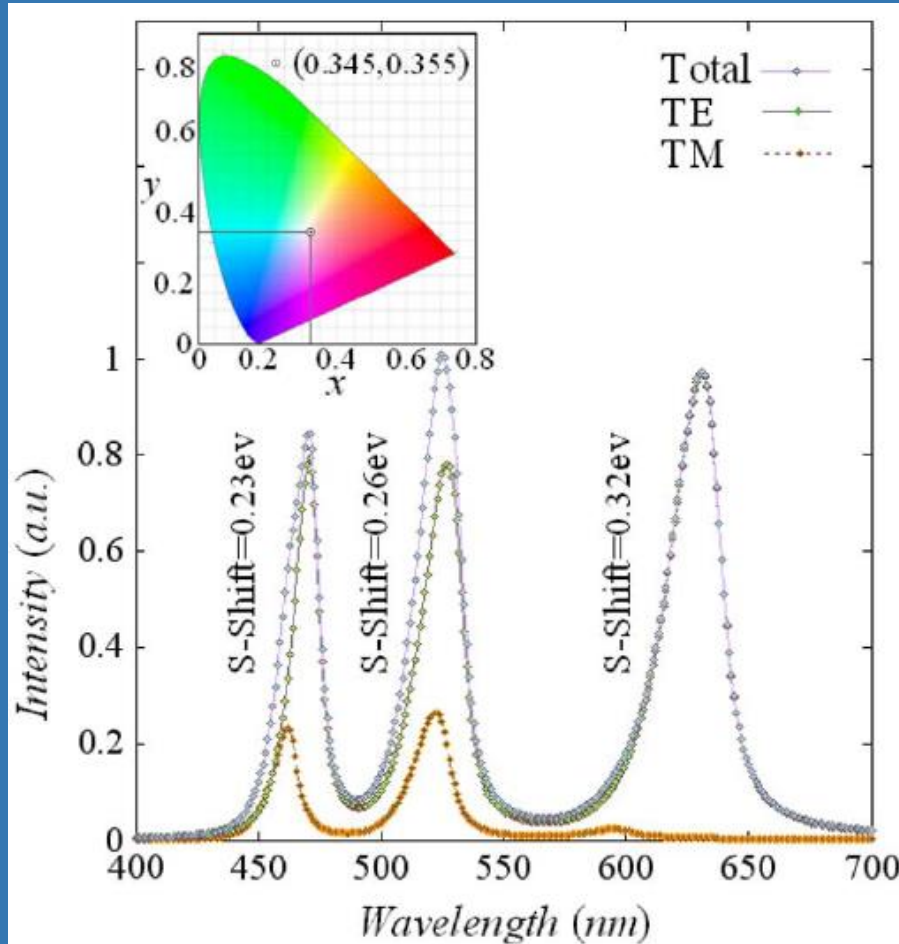
- ملاحظه می شود که استفاده از $AlInGaN$ بدلیل کاهش L_w باعث می شود که توابع موج الکترون / حفره همپوشانی بیشتری نسبت به هم داشته باشند. (شکل بالایی)

- علاوه بر این همانطور که در شکل پایینی مشخص است، استفاده از $AlInGaN$ به جای GaN باعث جابجایی کمتری در پیک تابع موج نسبت به مرزهای چاه شده است.

این امر ناشی از میدان های داخلی کمتر بدلیل نزدیک تر بودن ثوابت شبکه ی چاه و سد می باشد.



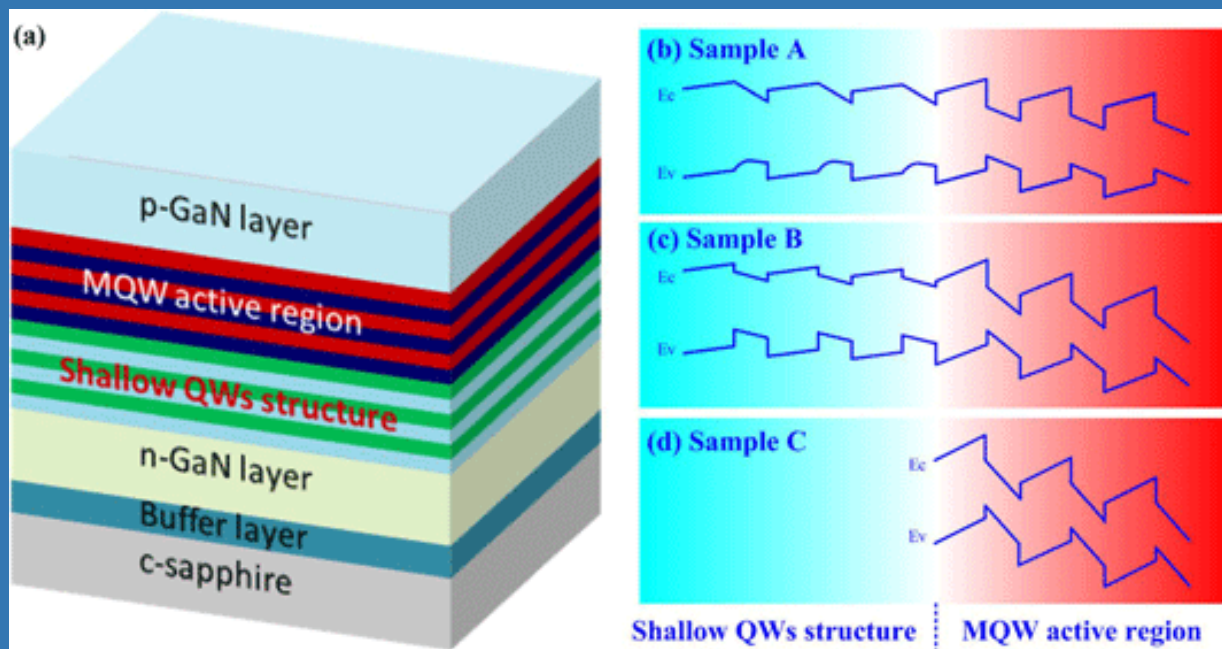
تولید نور سفید



- شدت نور تابیده شده بر حسب طول موج برای هر دو مود قطبش TE و TM در این شکل نشان داده شده است.
- برای تابنده های قرمز و سبز ۱۰ زیرباند برای محاسبه ی شدت نوری استفاده شده است. اما چون فاصله ی بند ها در تابنده آبی زیاد است، ۵ زیرباند در محاسبه در نظر رفته شده است.
- برای حامل های کمتر از $\frac{10^{19}}{cm^3}$ مد TE غالب می باشد و دلیل آن این است که زیرباندهای HH و LH عمدتا در این مد خود را نشان می دهند.
- نکته ی مهم این است که پیک ها طوری طراحی شده است که نهایتا ترکیب رنگ ها، رنگ سفید را تولید کند.

جدید ترین فناوری در تولید نور سفید با چاه کوانتومی

- ایجاد یک ساختار چاه کوانتومی قبل از ناحیه ی چاه کوانتومی فعال برای کاهش میدان های استرینی
- با این کار می توان بازدهی قطعه را تا ۸۰٪ افزایش داد.



جمع بندی :

- برای تولید سفید می توان از ترکیبات نیتریدی که دارای گاف انرژی در محدوده ی نور مرئی دارند، استفاده کرد.
- بدلیل وجود اثر کوانتومی استارک، جذب اکسیتونی در چاه های کوانتومی تأثیر بسیار بیشتری نسبت به LED های حجمی دارد.
- در LED های چاه کوانتومی میدان های داخلی تأثیر بسزایی در عملکرد قطعه داشته و باید در تحلیل آنها در نظر گرفته شود.
- استفاده از ترکیب $AlInGaN$ به جای GaN با کاهش میدان های داخلی باعث بهبود عملکرد قطعه می شود.
- برای حامل های کمتر از $\frac{10^{19}}{cm^3}$ مد TE غالب می باشد و دلیل آن این است که زیرباندهای HH و LH عمدتاً در این مد خود را نشان می دهند.
- ساختار پیشنهادی با تولید سه شدت نوری قرمز، سبز و آبی می تواند با موفقیت نور سفید را تولید کند.

مراجع :

- [1] Hilmi Volkan Demira,b,*, Sedat Nizamoglu^b, Talha Erdem^b, Evren Mutluguna,b, Nikolai Gaponik^c, Alexander Eychmüller^{c,*} "Quantum dot integrated LEDs using photonic and excitonic color conversion," *Nano Today* (2011) 6, 632—647
- [٢] Y. Narukawa, K. Izuno, M. Yamada, Y. Murazaki, and T. Mukai, "Phosphor-conversion white light emitting diode using InGaN near-ultraviolet chip," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 41, pp. L371–L373, 20١١.
- [٣] R. J. Xie, N. Kimura, K. Sakuma, and M. Mitomo, "Phosphor-converted white light-emitting diodes using oxynitride/nitride phosphors," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, pp. 191101–191103, 2007.
- [٤] S. C. Allen and A. J. Steckl, "A nearly ideal phosphor-converted white light-emitting diode," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, pp. 143309–143311, 2008.
- [٥] E. F. Schubert and J. K. Kim, "Solid-state light sources getting smart," *Science*, vol. 308, pp. 1274–1378, 2005.
- [٦] K. Park, M. K. Kwon, C. Y. Cho, J. H. Lim, and S. J. Park, "Phosphor-free white light-emitting diode with laterally distributed multiple quantum wells," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, pp. 091110–091112, 2008.

سؤال؟؟

