



بسم الله الرحمن الرحيم

والله يحيطون بشي من علمه الا بما شاء

آشکار سازهای نوری مبتنی بر گالیوم آرسناید

استاد راهنما: دکتر محمدنژاد

دیماه ۹۶

مقدمه و تعاریف

انواع ساختار آشکار سازی

مقایسه و پیشنهاد

مقدمه

- اولین بلوک گیرنده در یک خط انتقال نوری که تبدیل سیگنال نوری حاوی اطلاعات به سیگنال الکتریکی را انجام می دهد.
- به سه گروه عمده تقسیم می شوند:
 ۱. آشکارسازهای نیمه ها دی (با تابش نور به ماده الکترونها از باند ظرفیت به باند هدایت برانگیخته می شوند)
 ۲. آشکارسازهای فوتون گسیل (الکترونها با تابش نور به یک ماده حساس به نور از آن خارج می شوند)
 ۳. آشکارسازهای حرارتی (در نتیجه اثر حرارتی نور □ دمای ماده تابش دیده افزایش می یابد و خواص الکتریکی آن تغییر می کند)
- قیمت کم □ اندازه کوچک □ استحکام □ توان مصرفی کم □ محدوده طیفی وسیع □ حساسیت خوب و پاسخ سریع مناسبترین برای مخابرات نوری

انواع آشکارسازهای نیمه هادی

دیود نوری PN

دیود نوری PNP

دیود نوری بهمنی (APD)

آشکارساز فلز نیمه هادی- فلز (MSM)

فتوترانزیستور

فتوکنداکتور

پارامترهای مهم در یک آشکارساز

❖ **بازده کوانتومی** (تعداد الکترونهای تولید شده در پیوند به ازای تعداد فوتونهای تابیده شده)

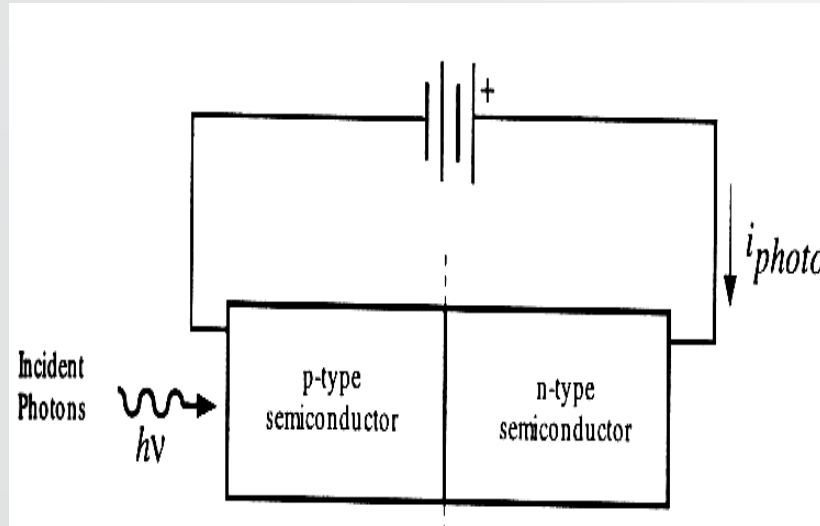
❖ **پاسخدهی** (نسبت جریان آشکار شده بر حسب آمپر تقسیم بر توان نوری ورودی بر حسب وات)

❖ **سرعت پاسخ** (وابسته به شیب زمان صعود- معمولاً زمان صعود بصورت زمان مورد نیاز برای اینکه سیگنال خروجی از % ۱۰ به % ۹۰ مقدار نهایی خود در پاسخ به یک تابع پله ورودی نوری برسد)

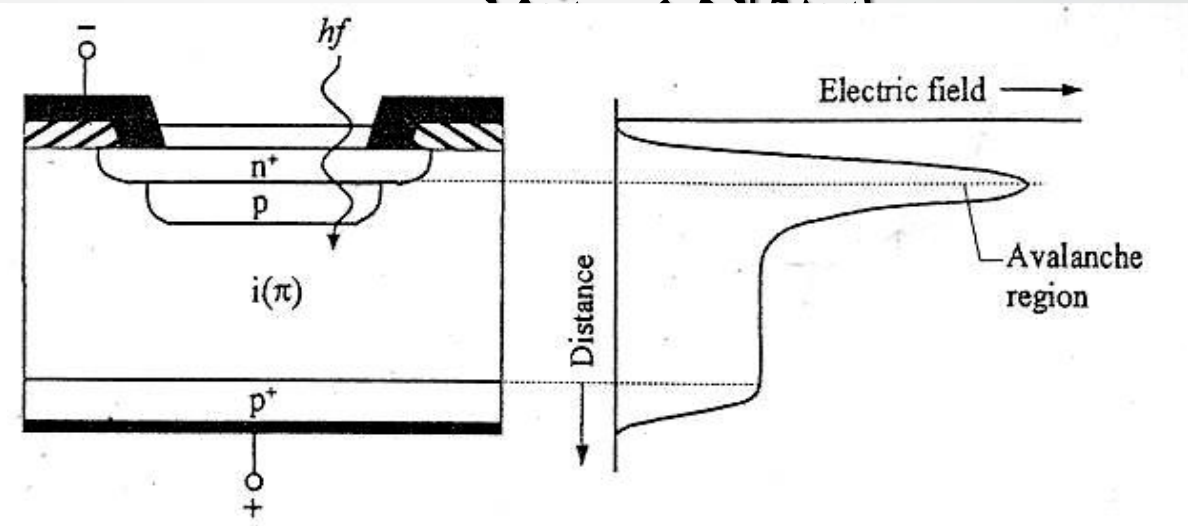
❖ **محدوده دینامیکی** (محدوده توان نوری که جریان دیود آشکارساز تغییرات خطی با میزان توان نوری ورودی دارد)

❖ **جریان تاریکی** (میزان جریانی که در بایاس معکوس از آشکارساز نوری

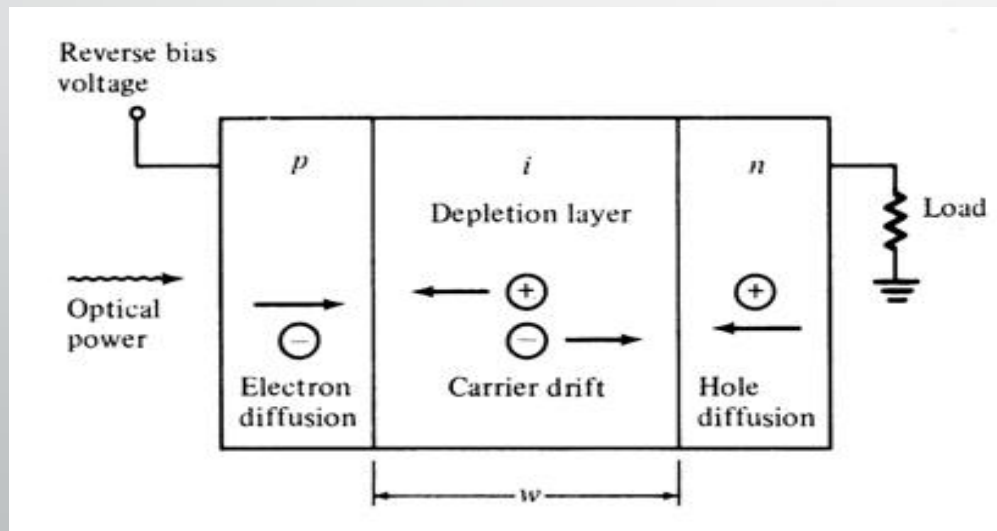
در شبکه های نوری بیشتر از آشکارسازهای PN , APD و MSM



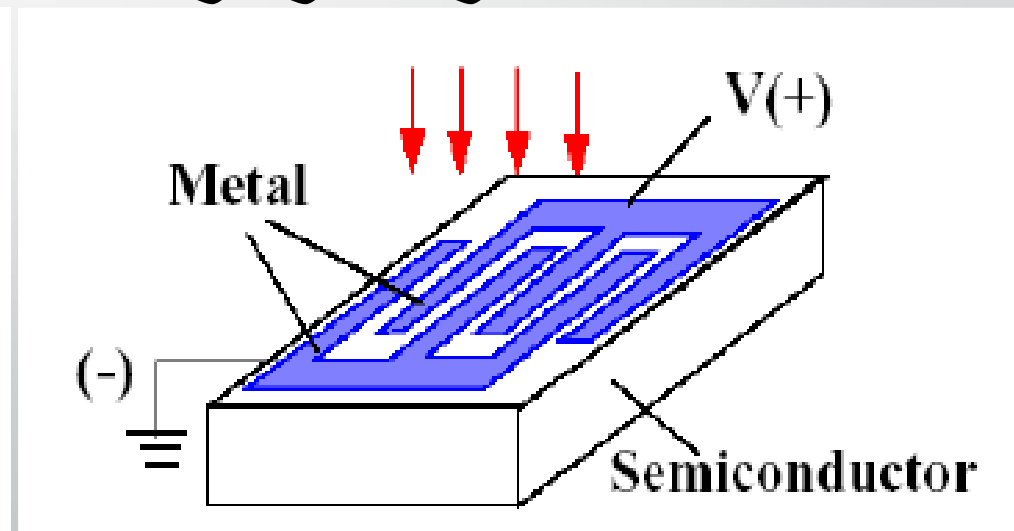
ساختار آشکارساز PN



ساختار آشکارساز APD



ساختار آشکارساز



ساختار آشکارساز MSM

مواد بکار رفته در آشکارسازهای نوری نیمه هادی

پاسخگویی آشکارساز نوری بوسیله ساختار و نوع ماده سازنده آن تعیین می شود.

□ برای آشکارسازی در محدوده ۸۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر از موادی مانند Si , Ge , $GaAs$, $InGaAs$, $InGaAsP$ استفاده می شود.

□ در طول موج های بالاتر از یک میکرومتر حساسیت سیلیکون کم است لذا در این طول موج از این ماده استفاده نمی شود.

□ برای طول موج های ۱-۱.۶۵ میکرومتر می توان به موادی مانند $HgCdTe$, Ge , InP , $InGaAsP$, $GaAlSb$, $GaAlInSb$ استفاده کرد.

بعضی خواص گالیوم آرسناید

❖ علت موفقیت گالیوم آرسناید به عنوان نیمه رسانای پرسرعت □ همانا تحرک الکترونی زیاد آن از $4/1 \times 10^7$ تا 5×10^7 سانتیمتر در ثانیه □ در مقایسه با سیلیسیوم است که تحرک الکترونی آن تقریباً 6×10^6 سانتیمتر در ثانیه است. این سرعت زیاد الکترونی به سبب جرم مؤثر الکترون قابل دستیابی است که مقدار آن در گالیوم آرسناید هفت درصد مقدار آن در سیلیسیوم است.

❖ گالیوم آرسناید در برابر تابش‌های الکترومغناطیسی و رادیواکتیو نیز مقاوم است □ و به همین سبب ماده‌ی مهمی در کاربردهای نظامی و فضایی است. مقاومت گالیوم آرسناید در برابر تابش ذرات بارددار حداقل ده برابر مقاومت سیلیسیوم است.

❖ فاصله‌ی نواری پهن‌تر □ یعنی تعداد کم‌تری از حامل‌های رسانش ذاتی. در حقیقت با تکنیک‌های خاصی می‌توان شرایطی فراهم آورد که تراشه‌های گالیوم آرسناید در دماهایی در حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه‌ی سانتیگراد بتوانند کار کنند.

❖ تنها عیب گالیوم آرسناید □ که تاکنون معلوم شده است □ رسانندگی گرمایی کم آن در مقایسه با نیمه رساناهای دیگر است

آشکار سازی با گالیوم آرسناید

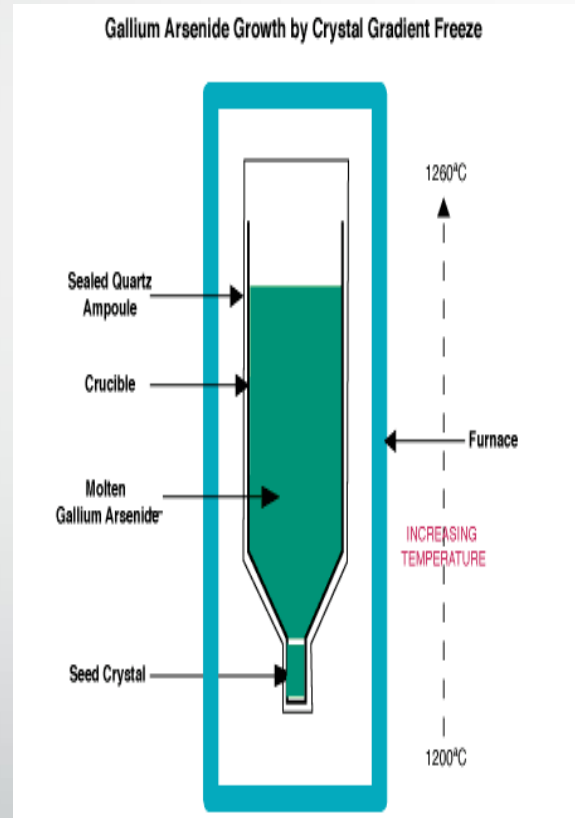
- ✓ این آشکار ساز از سال ۱۹۶۰ زمانی که سیگنالهای تشعشع شده از کبالت ^{60}Co را مشاهده کردند به عنوان یک آشکار ساز معرفی شده است.
- ✓ آشکار سازهای مبتنی بر مواد حجیم اولیه از تجمع بار ضعیف رنج می بردند.
- ✓ دستگاههای مبتنی بر GaAs رشد یافته LPE ساخته شدند تا آشکار سازهای خوبی باشند.

روش های رشد گالیوم آرسناید

روش اپیتاکسیال

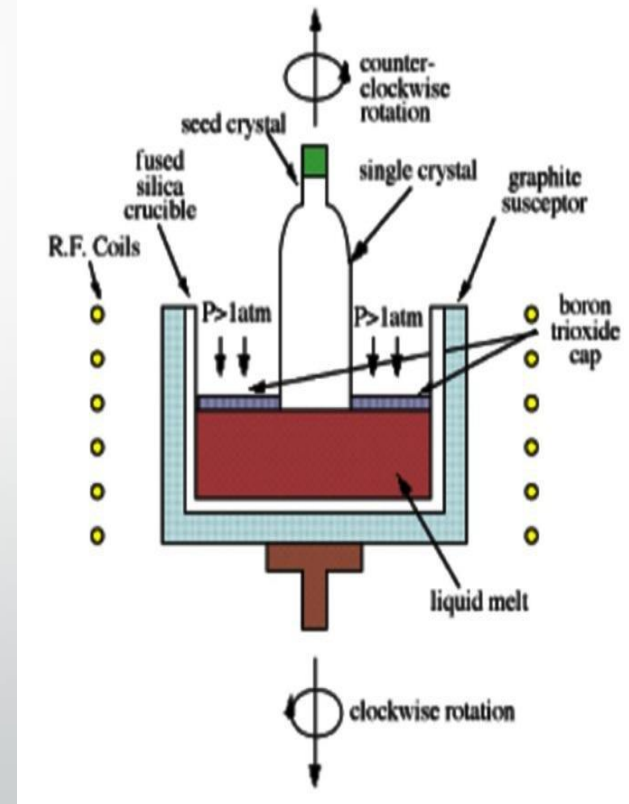
روش رشد توسط
اپیتاکسیال که در زمره
Molecular Beam Epitaxy
(MBE) است مهمترین
تکنیک برای نیمه هادی
ترکیبی GaAs است که
این
روش کنترل دقیقی روی
ایجاد پارامترهایی مثل
ضخامت □ نرخ رشد □
ترکیب و شکل ظاهر ماده
دارد.

روش Vertical Gradient Freeze



طرح کلی روش رشد VGF

روش Liquid Encapsulated Czochralski



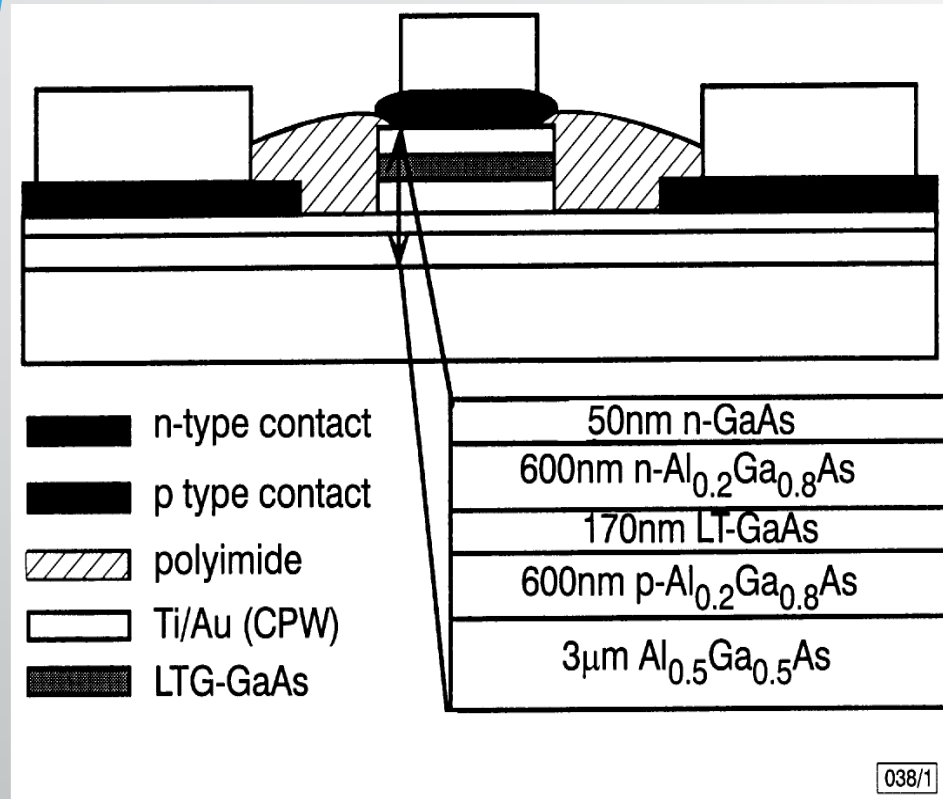
طرح کلی روش رشد
LEC

فناوری ساخت آشکار ساز PIN

✓ در یک سیستم 9136 رشد داده شده است.

✓ دو نوع لایه از گالیوم آرسناید رشد یافته در درجه حرارت کم با ضخامت 170 و 350 نانومتر به عنوان لایه جاذب استفاده شده است.

✓ درجه حرارت رشد 215 درجه سانتی گراد است که با As_2/Ga با نسبت فشار پرتو 12 انجام می شود.



ساختار
آشکار ساز 9136

✓ به مدت 10 دقیقه در کوره ای با 590

➤ یک دستگاه تحلیلگر نوری ($209\text{THz} \sim 0.13\text{eV}$) برای اندازه گیری پاسخ فرکانسی استفاده خواهد شد.

➤ نور خروجی دستگاه یک دیود لیزری با طول موج $1.55\text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر است.

➤ سیگنال میکروویو تولید شده توسط پروب 40 GHz گیگاهرتز جمع آوری شده است.

➤ به علت داشتن ضخامت های متفاوت در ناحیه جاذب دو نوع طیف آشکار خواهد شد

➤ لایه فعال A $2\text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر عرض $35\text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر طول و 70 nm

➤ لایه فعال B $2\text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر عرض $300\text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر طول و 10 nm

آشکارساز

❖ متغیر پاسخ فرکانسی از فرکانس صفر تا فرکانس 20 GHz گیگاهرتز 2 dB دسی بل است.

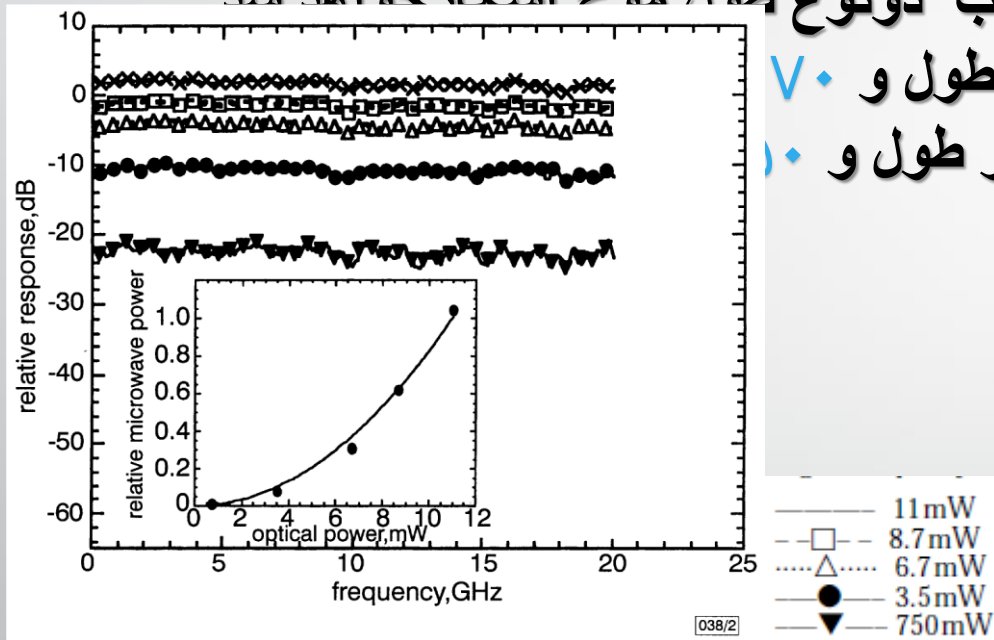
❖ سطوح مختلف توان تحریک ورودی از 0.75 mW تا 11 mW میلی وات پاسخ برابری نشان می دهند (اشباع شدگی نداریم).

❖ بازده کوانتومی به دلیل کم بودن ضریب جذب

ترکیبی با طول ناحیه فعال کم است (تقریباً $1/10$)

درصد) که برای افزایش بازده کوانتومی طول

ناحیه فعال را افزایش می دهیم



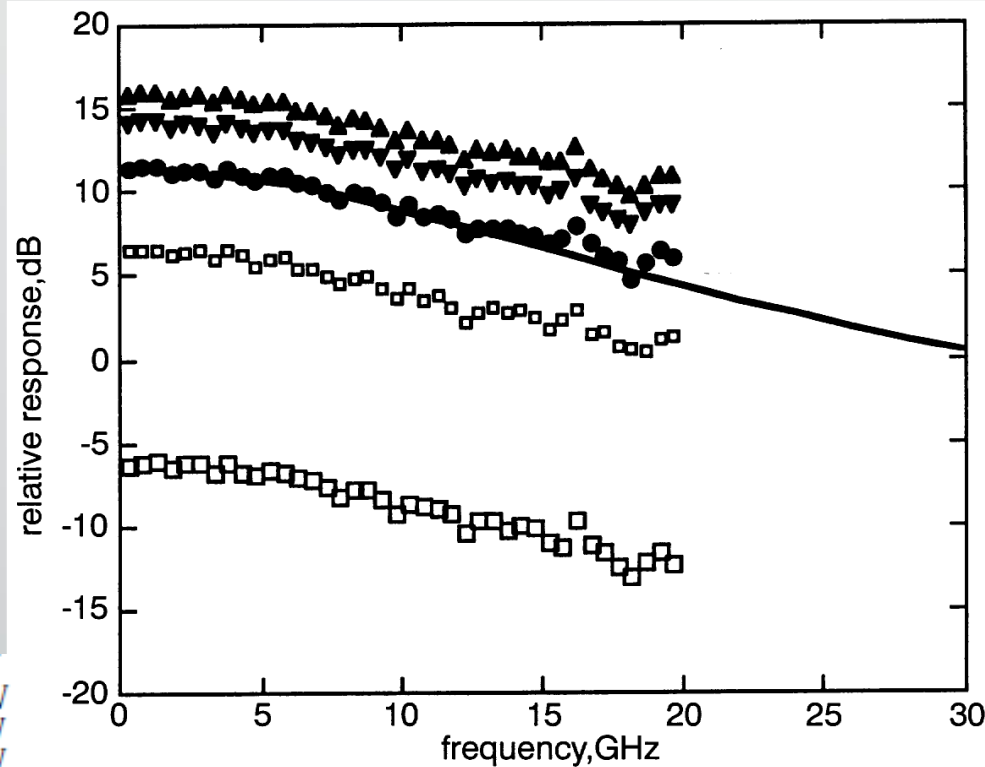
پاسخ
فرکانسی

آشکارسازی نوع B

- برای افزایش بازده بهبود بخشیده شده است
- بازده کوانتومی آن ده برابر حالت قبل است
- پاسخ فرکانسی آن در 2×10^9 گیگاهرتز

نتیجه:

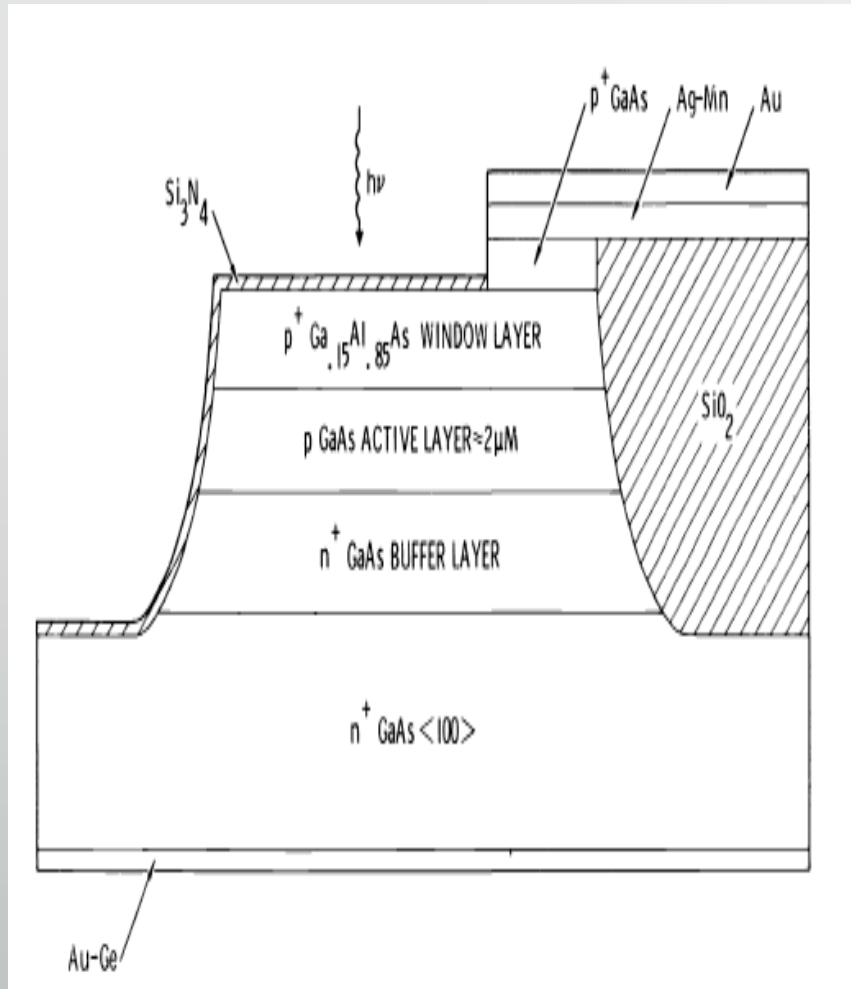
- بازده کوانتومی کم به علت زمان کوتاه تله گذاری حامل ها و ضریب جذب کم است.
- ضریب جذب مودال این سیستم cm^{-1} در طول های مختلف آشکارساز اندازه گیری شده است.
- بین بازده و پهنای باند معاوضه اتفاق می افتد.
- برای بهبود حاصلضرب بین پهنای باند و بازده $\square$ درجه حرارت رشد و گداختگی باید بهینه شود.



038/3

پاسخ فرکانسی

فناوری ساخت آشکار ساز

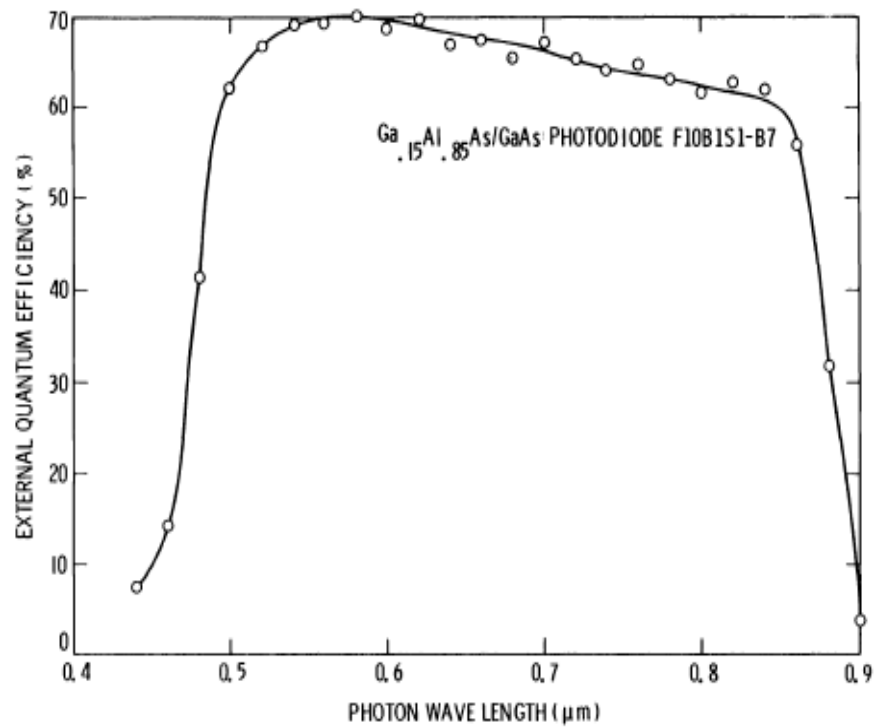


شماتیک غیر همگن
AlGaAs/GaAs

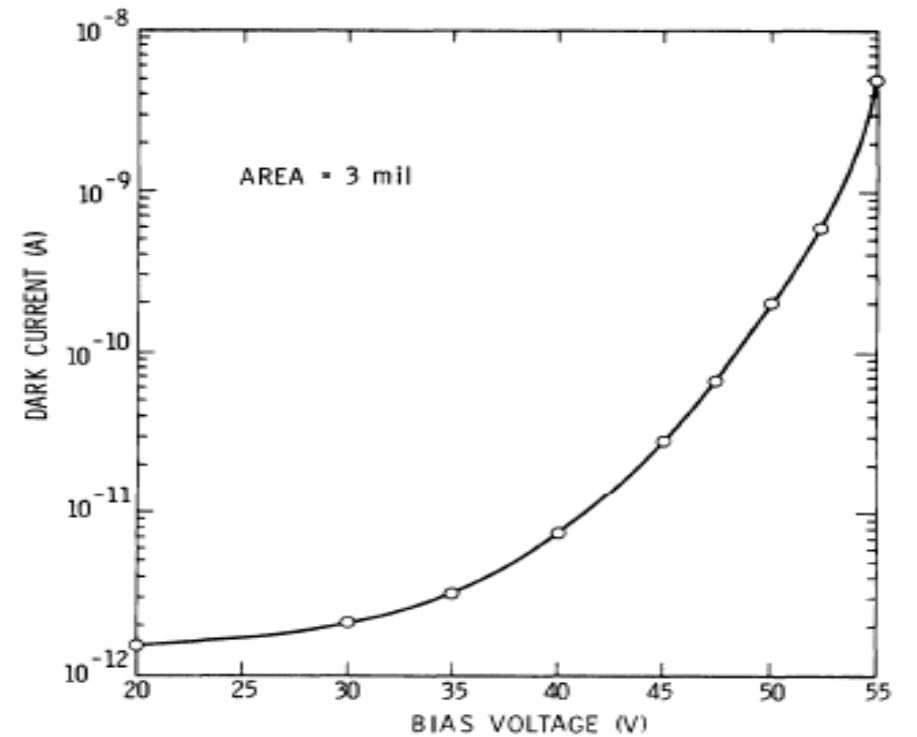
❖ ساختار سازی در محدوده نور مرئی تا مادون قرمز نزدیک توسط آشکار ساز های بهمنی سیلیکونی بهینه شده قابل دستیابی است ولی برای بعضی از کاربردها که نیاز بازده کوانتومی بالا و سرعت بالا نیاز است این نوع آشکار ساز ها به علت ضریب جذب کم سیلیکون مناسب نیست.

❖ در این ساختار (AlGaAs/GaAs) به بازده کوانتومی بالا و سرعت بالا به طور همزمان میتوان دست یافت.

❖ یکی از مزیت های این ساختار این است که مواد با شکاف باند وسیع تر میتوانند در بالای ناحیه فعال این ساختار رشد داده شوند که در نتیجه آن سیگنال نوری ورودی برخوردی به خوبی در آن نفوذ نموده و در ناحیه فعال جذب میگردد.

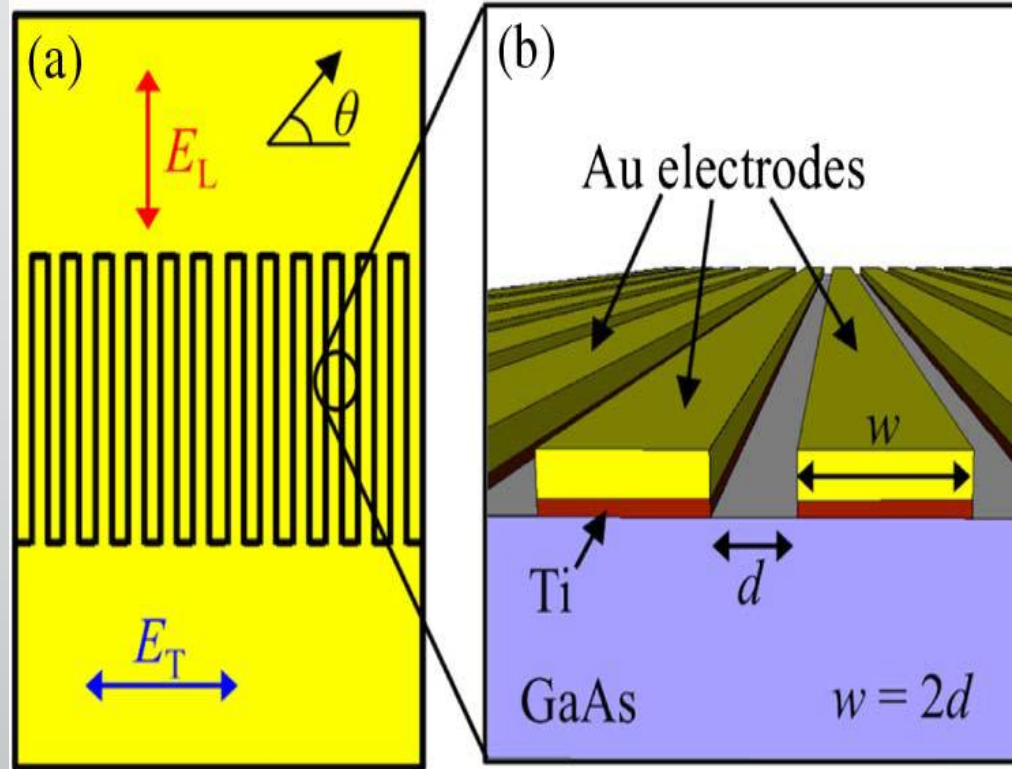


بازده کوانتومی
خارجی

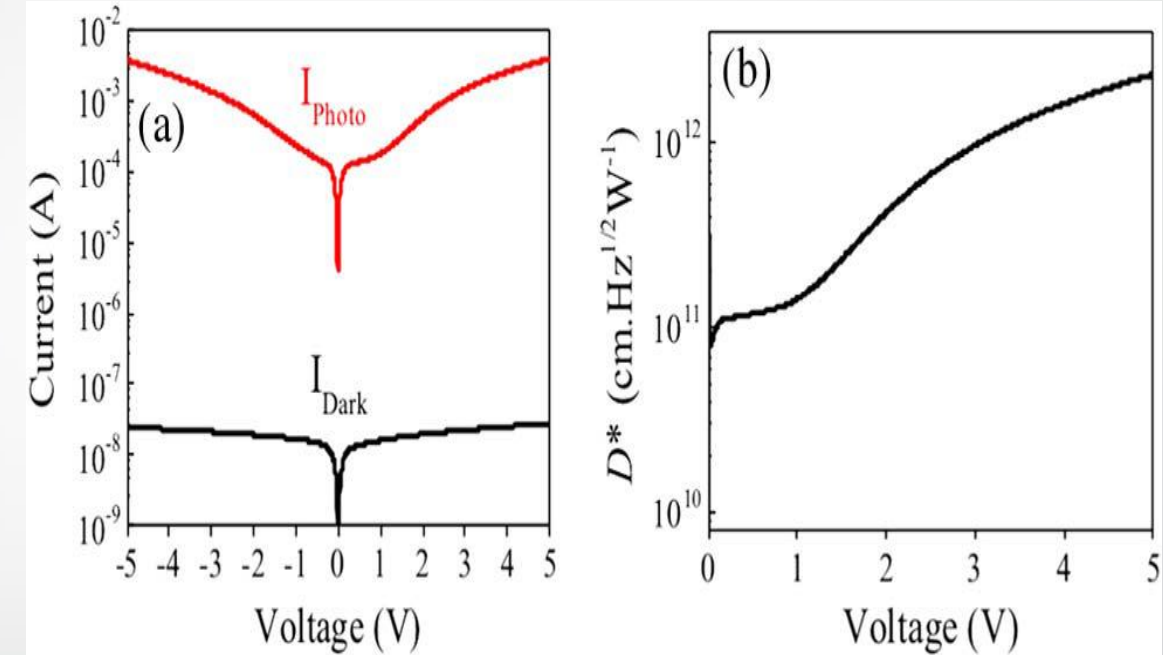


مشخصه جریان تاریکی در این نوع آشکارساز قطر موثر 3mm و
42dB بهره در ولتاژ بایاس 55V

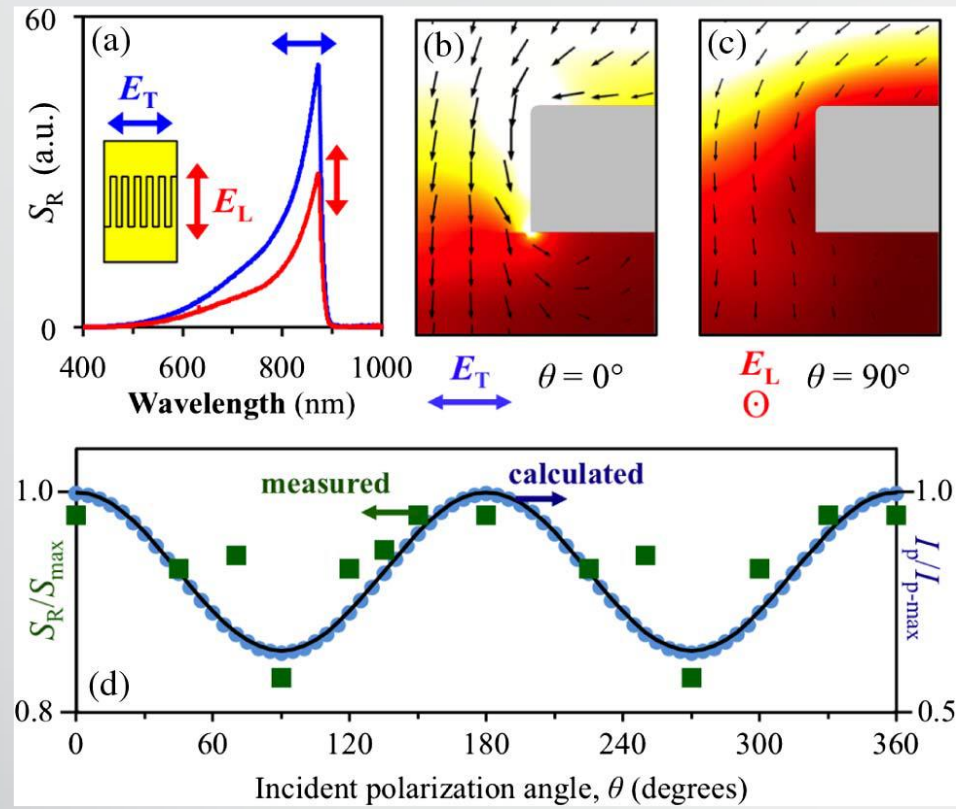
فناورهای ساخت آشکار ساز فلز- نیمه هادی- فلز (FET)



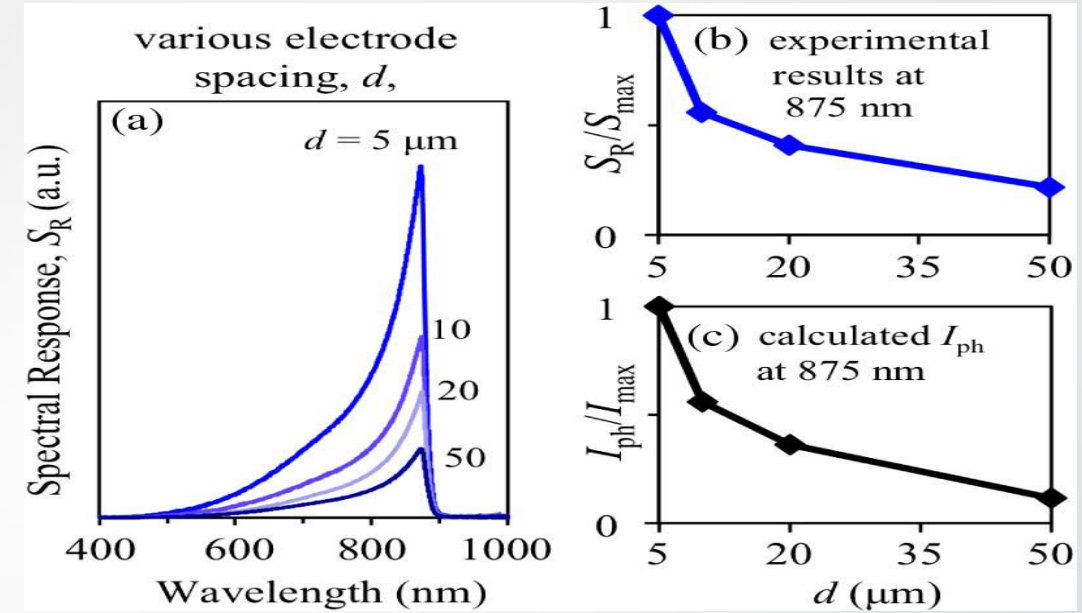
(a) Schematic of device showing two electrodes (gold) with channels between the interdigital fingers (black). Diagram also shows transverse, E_T , and longitudinal, E_L , polarizations, as well as the polarization angle, θ ; (b) cross section of device showing Au electrodes with thickness, w , and spacing, d , attached to the semi-insulating GaAs substrate with the Ti layer.



(a) I - V characteristics of device with $5\text{ }\mu\text{m}$ electrode spacing under illumination intensity of 100 mW/cm^2 ; (b) detectivity of the device with $5\text{ }\mu\text{m}$ electrode spacing.



(a) Measured spectral response of a 5 μm device for transverse and longitudinal polarization; (b) calculated optical enhancement near the electrode edge for transverse polarization; (c) calculated optical enhancement near the electrode edge for longitudinal polarization; (d) polarization-dependent normalized spectral response measurements (squares) and normalized photocurrent calculations (circles) with a $A \cos^2 \theta + B$ fit (line).



(a) Spectral response spectra for transverse polarization as function of electrode spacing, d ; (b) normalized peak from (a) plotted as function of electrode spacing; (c) normalized calculated photocurrent as a function of electrode spacing at 875 nm incident light.

جدول : مقایسه انواع آشکارسازهای نوری

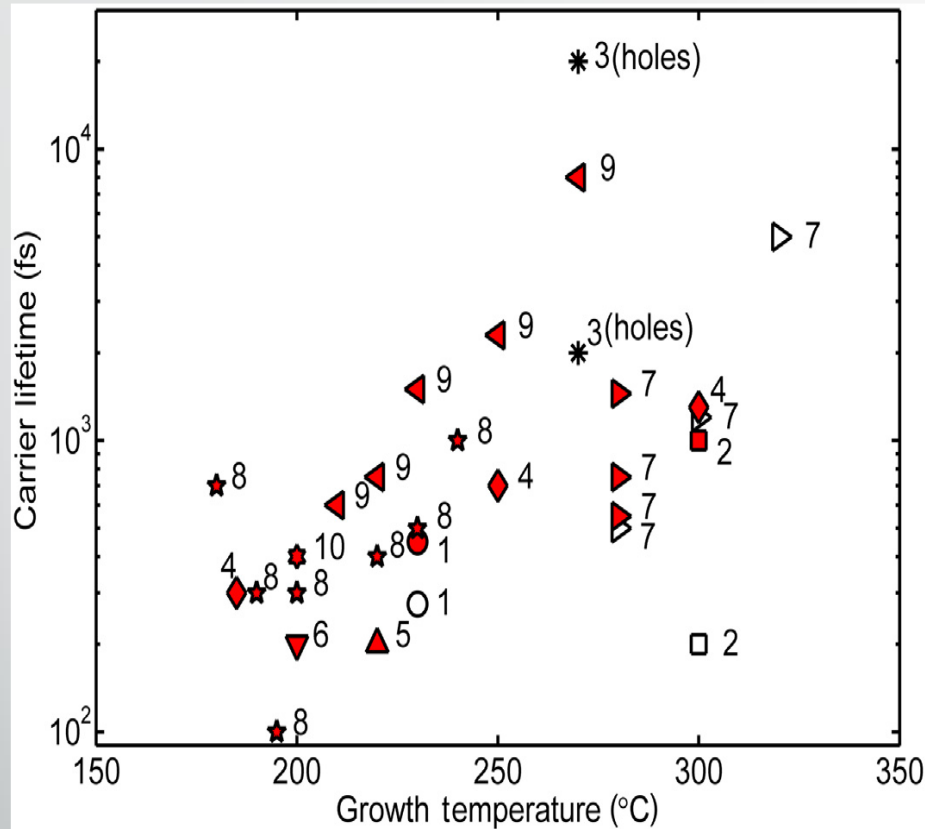
مزایا	APD	PIN-Pre AMP	PIN	MSM
بهره جریان، حساسیت بیشتر نسبت به PIN، سرعت پاسخ و باند فرکانسی مناسب	ولتاژ کار کم، نویز کم، تقویت سیگنال	ولتاژ کار کم، جریان نشتی کم، نویز کم،	ولتاژ کار کم، جریان نشتی کم، سرعت پاسخ و باند فرکانسی بهتر از APD، ساختار ساده تر و قیمت کمتر نسبت به APD	ساختار بسیار ساده، نویز کمتر از APD و PIN، سرعت پاسخ و باند فرکانسی زیاد
معایب	نویز زیاد، جریان نشتی زیاد، نیاز به ولتاژ کار زیاد، حساسیت زیاد به دما، ساختار پیچیده، قیمت زیاد	پیچیدگی ساخت (مجمع سازی به همراه تقویت کتنده)	حساسیت کم، بدون بهره جریان،	حساسیت کم، بدون بهره جریان

پیشینه

مواد نیمه هادی که در درجه حرارت کم $GaAs$ high speed detection

رشد داده می شوند به علت طول عمر خیلی کوتاه حامل های تحریک شده به عنوان آشکارسازهای نوری خیلی سریع عمل می کنند.

محدوده درجه حرارت برای رشد $GaAs$ معمولی در حدود ۵۸۰-۶۰۰ درجه سانتی گراد است در حالیکه در این نوع آشکارسازها $GaAs$ را با درجه حرارت ۱۸۰ تا ۳۰۰ درجه رشد می دهند.



طول عمر حامل به عنوان تابعی از درجه حرارت

پیشینه

آشکارسازهای پلاسمونیکی

از مزایای آشکارسازهای پلاسمونی می توان به دارا بودن همزمان بازده کوانتومی بالا و عملکرد فوق سریع آن اشاره کرد که در آشکارسازهای معمولی بین بازده کوانتومی بالا و عملکرد سریع معاوضه رخ خواهد داد.

باتشکر از توجه
شما