

# طراحی و ساخت آشکارسازهای تابش برای تصویربرداری با قدرت تفکیک بالا

بر اساس پروژه " شبیه سازی و ساخت آشکارساز هیبریدی نانو سوسوزن اکسید روی - گازی برای  
تصویربرداری "

ارائه دهنده: فاطمه اسفندی

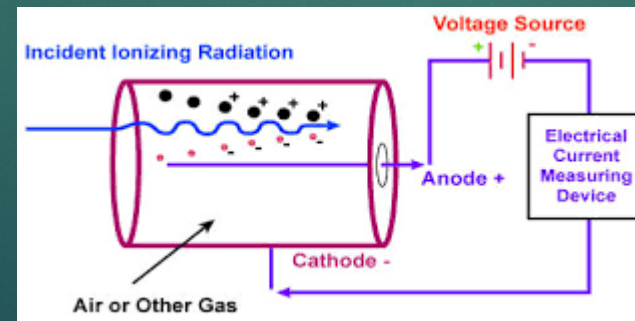
# انواع آشکارسازهای مورد استفاده در تصویربرداری



۱- آشکارسازهای نیمه هادی

۲- آشکارسازهای سوسوزن

۳- آشکارسازهای گازی

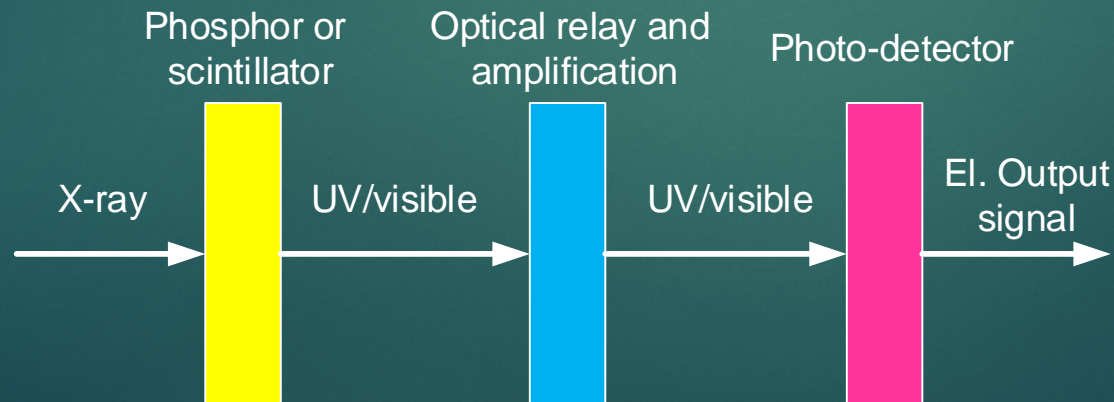


## آشکارسازهای نیمه هادی

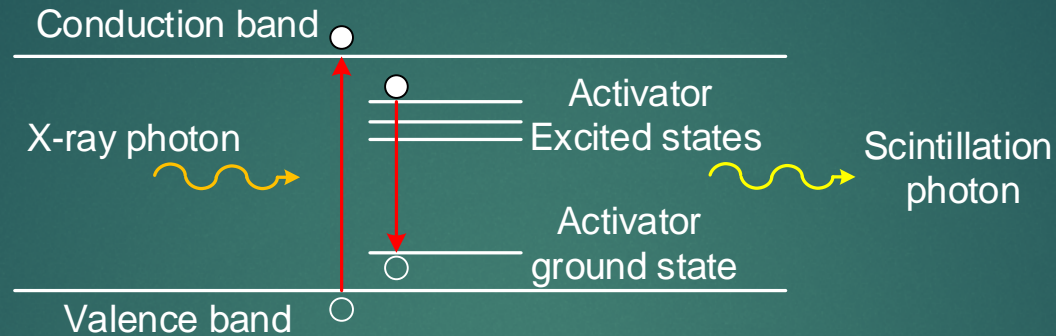
- ▶ این آشکارسازها یا به صورت مستقیم با فوتونهای  $X$  اندرکنش کرده و تولید سیگنال می نمایند (مانند دیود P-I-N) و یا دارای یک مبدل سوسوزن هستند که فوتون  $X$  را به فوتون نوری تبدیل می نماید و فوتون نوری با نیمه هادی اندرکنش می نماید.
- ▶ پس از اندرکنش فوتونها، الکترون و حفره ها به وسیله ی میدان الکتریکی جمع آوری می شود.
- ▶ دارای تفکیک انرژی عالی و رزولوشن مکانی خوبی هستند و به همین دلیل می توانند در سیستمهای تصویربرداری به وفور استفاده شوند.

# آشکارسازهای سوسوزن

- ▶ با جذب انرژی تابش یونیزه کننده، نوری مرئی یا نزدیک به مرئی تابش می کنند.
- ▶ اگر سوسوزن نسبت به نور خود شفاف بوده و بتوان نور تابش شده توسط سوسوزنها را با بازده بالا توسط تکثیر کننده فوتون و یا آشکارسازهای دیگری به سیگنال الکتریکی نمود، این آشکارسازها دارای حساسیت بسیار بالا خواهند بود.
- ▶ از آنجایی که تابش نور در اغلب سوسوزنهای غیر آلی متناسب با انرژی به جای مانده در آشکارساز است، علاوه بر آشکارسازی و ثبت فوتونها می توان انرژی آنها را نیز تعیین نمود.



# فرآیند سوسوزنی در سوسوزنهای غیر آلی



۱- **تبدیل:** اندرکنش چند مرحله‌ای فوتون با شبکه‌ی ماده‌ی سوسوزن طی اثر فوتوالکتریک و اثر پراکندگی کامپتون و تولید جفت الکترون - حفره‌های فراوان که به ترتیب در باندهای هدایت و ظرفیت به تعادل گرمایی می‌رسند.

۲- **انتقال:** مهاجرت الکترونها و حفره‌ها (نهایتاً اکسیتونهای ایجاد شده) درون ماده

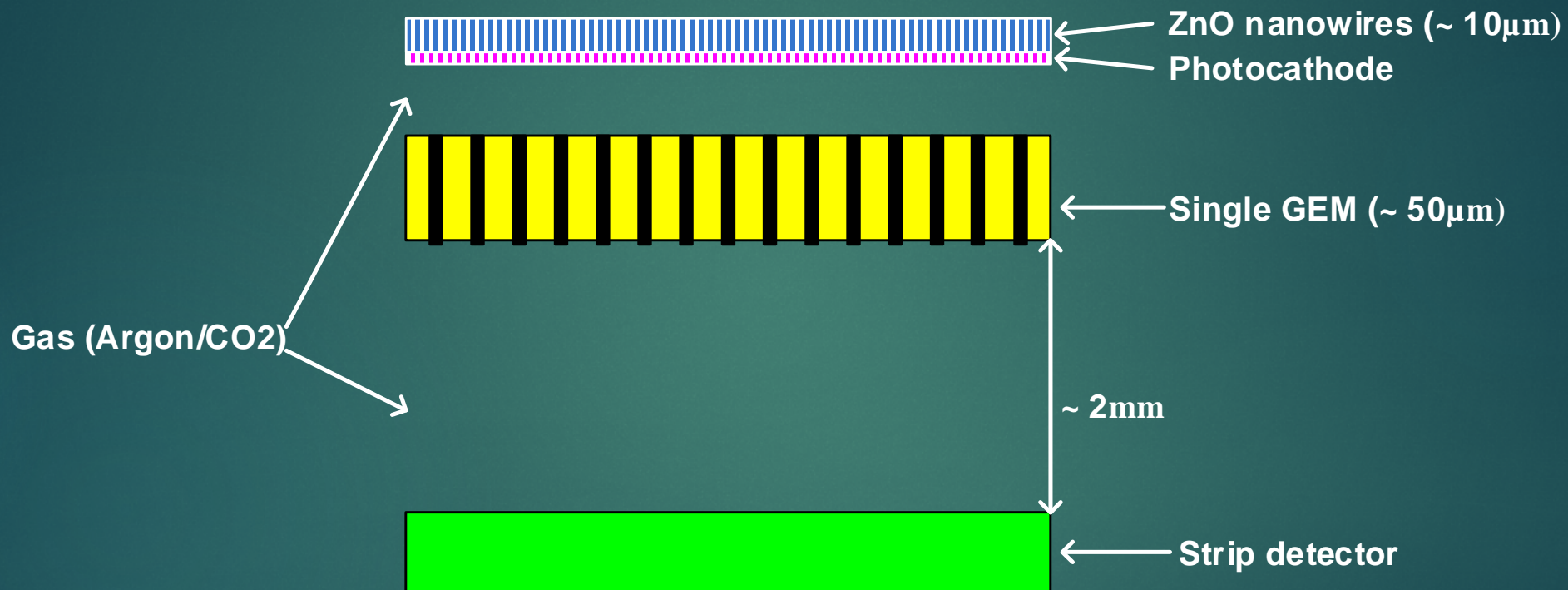
۳- **لومینسانس:** به دام افتادن پیایی الکترون‌ها و حفره‌ها در مرکز لومینسانس و بازترکیب توأم با تابش آنها است.

# آشکارسازهای گازی

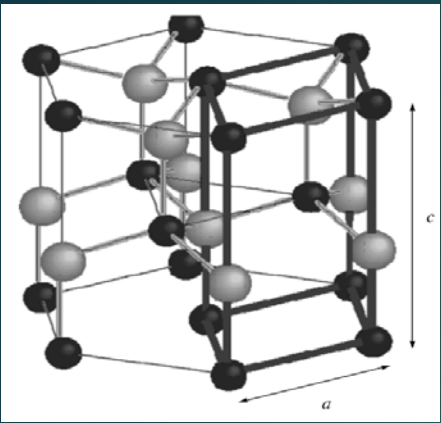
- ▶ در اتاقکهای یونش گازی پرتوهای یونیزان در اندرکنش با گاز آن را یونیزه کرده و تولید الکترون و یون می کنند که توسط یک میدان الکتریکی قوی جمع آوری می شود و سیگنال الکتریکی مینماید.
- ▶ تقریباً نسبت به پرتوی X شفاف هستند مگر اینکه مواد با عدد اتمی بالا به آشکارساز افزوده شود. این کار می تواند به صورت یک گاز با عدد اتمی و فشار بالا مانند زنون یا اضافه کردن مبدل های فلزی به اتاقک گاز انجام شود.

# شمای آشکار ساز پیشنهادی

7



# چرا اکسید روی؟



گاف انرژی  
پهن و  
مستقیم  
3.37eV

سوسوزن  
معدنی

زمان واپاشی  
کمتر از  
انانو ثانیه

## ZnO

سهولت  
سافت

قیمت  
پایین

شفاف  
در برابر  
نور مرئی

ضریب  
فانوکوپک

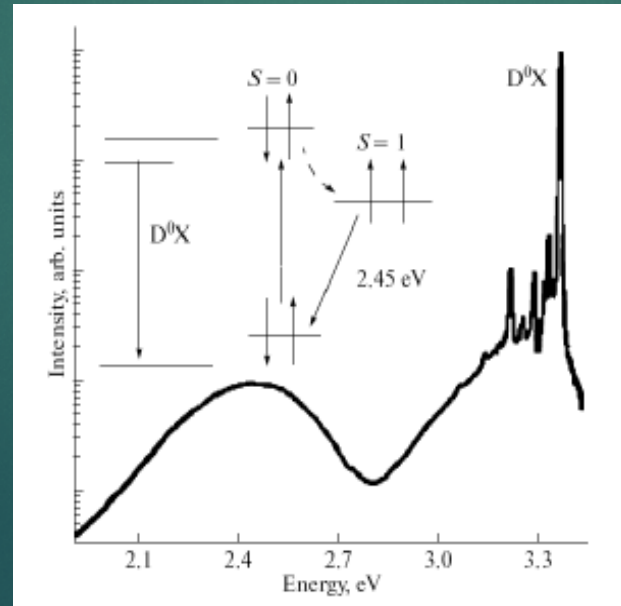
غیرسمی  
بودن و  
زیست  
سازگاری

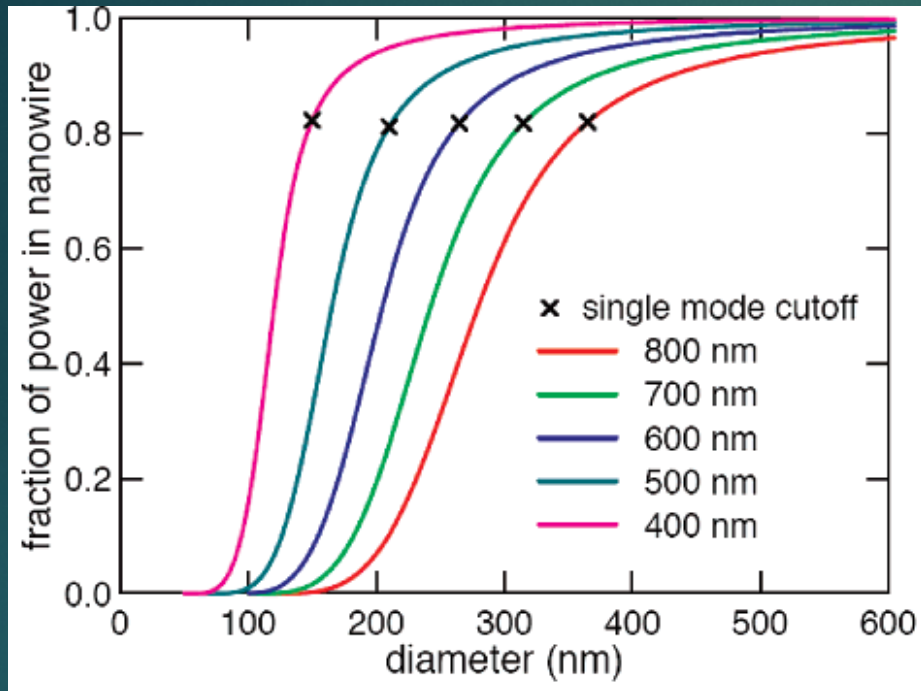
مقاومت  
در  
برابرتابش  
با شار بالا

# ویژگیهای نوری و لومینسانس اکسید روی (ZnO)

شکل های مختلف ZnO دو باند لومینسانس را به نمایش می گذارند :

- ۱- یک باند طول موج کوتاه که در نزدیکی لبه جذب کریستال قرار گرفته است و لومینسانس لبه نامیده می شود، حداکثر مقدار آن در انرژی  $3/5\text{ eV}$  است و زمان واهلش آن  $0/7\text{ ns}$  است، ماهیتی اکسیتونی دارد.
- ۲- یک باند عریض با طول موج بلند که معمولاً حداکثر مقدار آن در محدوده ی طیفی سبز قرار دارد



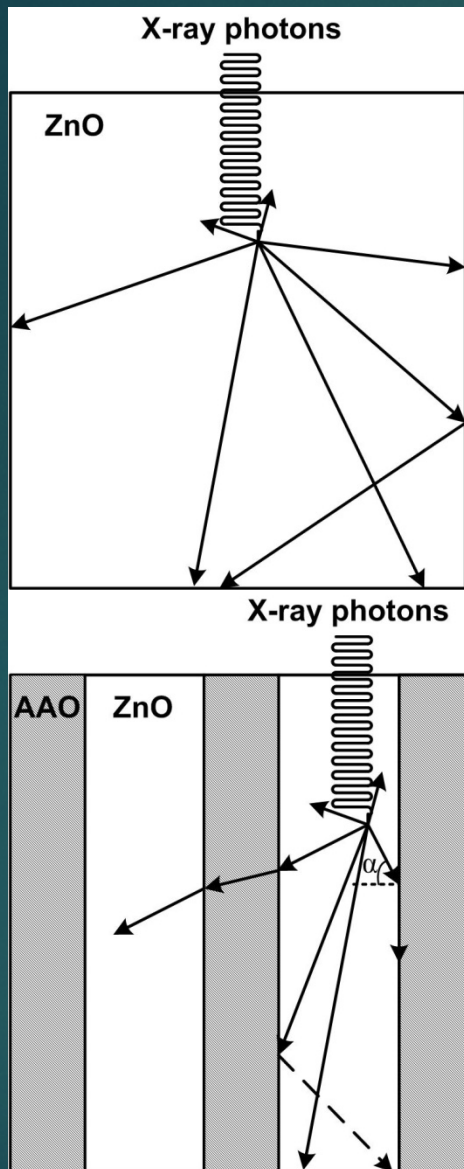


▶ ابعاد بسیار کوچک نانوساختارها به دلیل افزایش چگالی حالات در لبه‌های باند و محدود نمودن حاملها موجب بیشتر شدن بازترکیب تابشی می‌شوند. به همین دلیل از این ساختارها برای ساخت لیزرها و LEDها استفاده می‌شود.

▶ علاوه بر این نانوسیمهای ZnO می‌توانند مانند یک نوربر عمل نموده و نور سوسوزنی تولید شده را با حداقل اتلاف توان انتقال دهند.

در نانوسیمهای ZnO به دلیل تمرکز نور در هر نانوسیم و عدم پخش شدگی آن در بخش‌های دیگر، قدرت تفکیک مکانی افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان گفت که این آشکارساز با پاسخ زمانی بسیار خوب که جزء خصوصیات ذاتی ZnO است و با تفکیک مکانی عالی که جزء خصوصیات نانوسیم می‌باشد، می‌تواند به‌عنوان آشکارسازی ایده‌آل برای تصویربرداری پرتوی X مطرح گردد.

## بخش سوسوزن : چرا نانو سیم؟



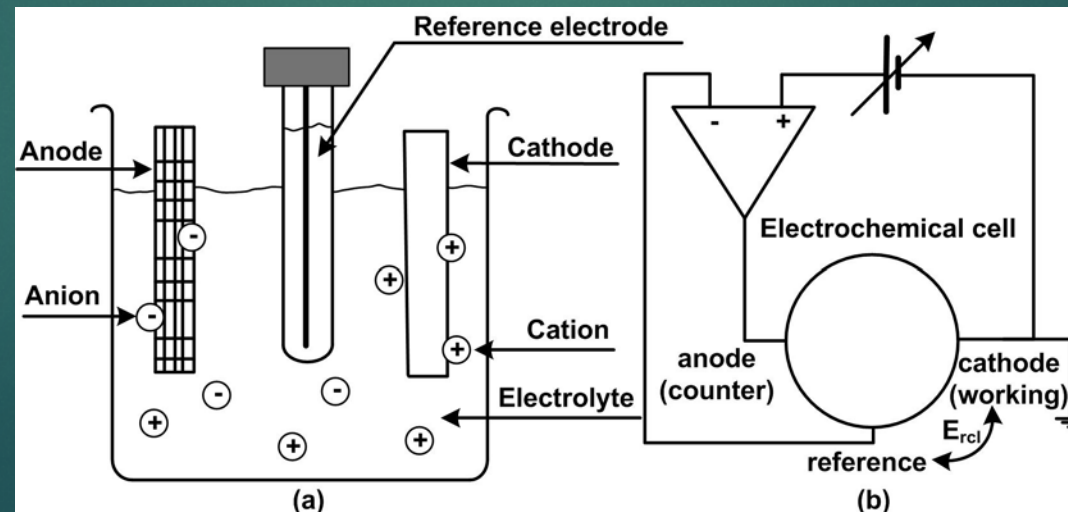
✓ به این دلیل که ضرایب شکست ZnO و AAO به ترتیب برابر ۶/۲ و ۸/۱ (برای انرژی قله طیف لومینسانس ZnO) هستند، در نتیجه تمام فوتون های نوری که زاویه فرودی کمتر از زاویه بحرانی ( $\alpha_c = 46^\circ$ ) دارند به طور کلی و بدون هیچگونه از دست دادن انرژی به داخل هدایت کننده نوری بازتاب پیدا می کند.

✓ هر نانو سیم ZnO = یک هدایت کننده ی نوری

✓ امکان تبدیل پلی کریستال به تک کریستال با عملیات حرارتی در نانو سیم ها، جهت افزایش مولفه ی تابشی با طول موج ۳۹۰ نانومتر (بازده نوری بالاتر و راندمان کوانتومی بیشتر فوتوکاتد در این طول موج)

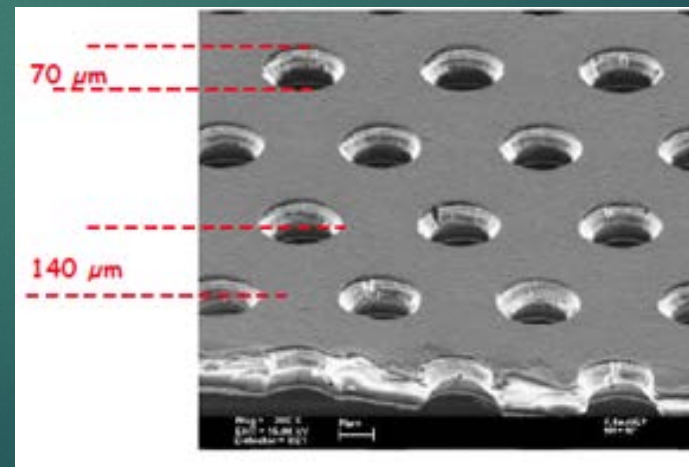
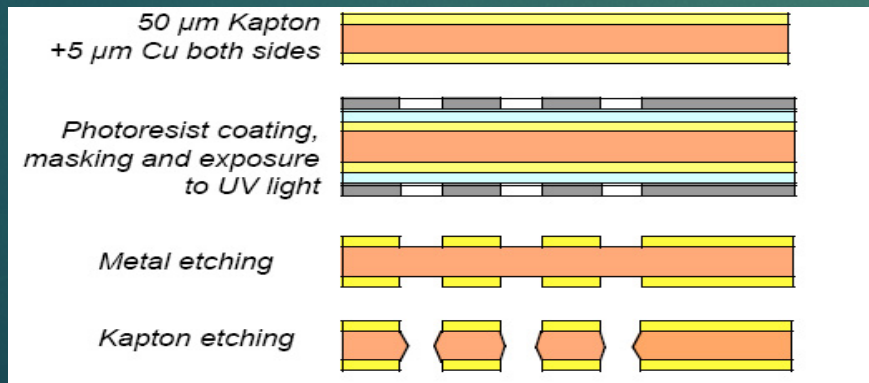
# چرا رسوب دهی الکتروشیمیایی؟

- ✓ امکان کنترل ضخامت و مورفولوژی رسوب بوسیله پارامترهای الکتروشیمیایی
- ✓ آهنگ رسوب دهی بیشتر نسبت به اکثر روش های دیگر
- ✓ ارزاتر بودن تجهیزات مورد نیاز
- ✓ عدم نیاز به فشار و دمای بالا
- ✓ امکان ایجاد رسوب های یکنواخت روی شکل های پیچیده
- ✓ از روی منحنی جریان صحت فرآیند رسوب دهی را می توان فهمید و نیازی به استفاده از SEM نیست.

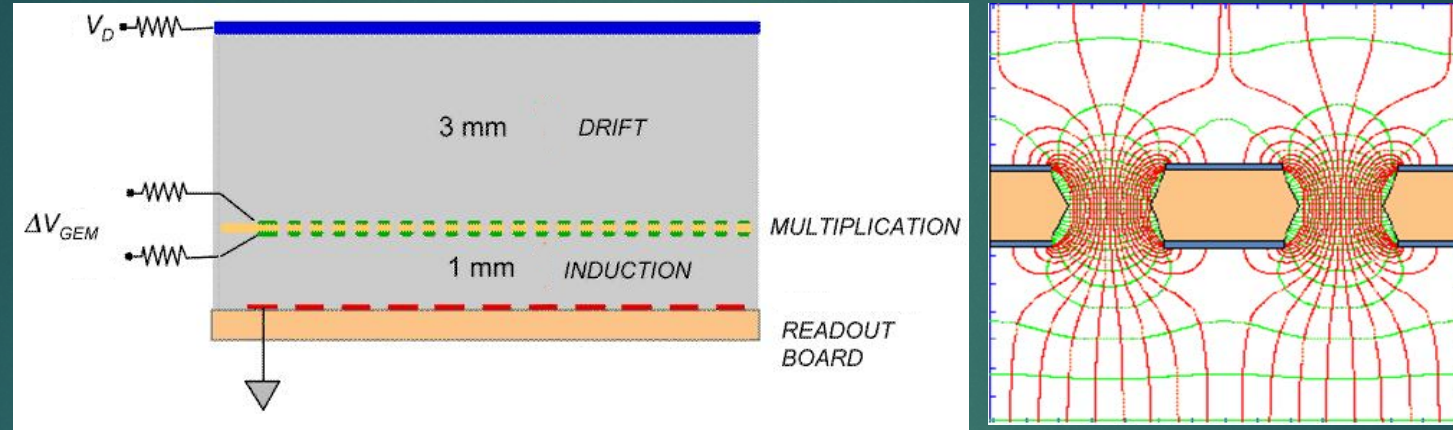


# معرفی تکثیرکننده ی گازی الکترون (GEM)

- در سال ۱۹۹۶ در CERN توسط Sauli و همکارانش معرفی گردید.
- از یک یا چند ورقه ی عایق از جنس کپتون (Kapton) به ضخامت  $50\ \mu\text{m}$  تشکیل شده است که در دو طرف آن فلز (معمولاً مس) لایه نشانی شده است.
- این ورقه دارای سوراخهایی به قطر تقریباً  $70\ \mu\text{m}$  است که با آرایش منظم در رئوس و مرکز یک شش ضلعی قرار گرفته اند و از یکدیگر  $140\ \mu\text{m}$  فاصله دارند



# ساختار تکثیرکننده ی گازی الکترون (GEM)

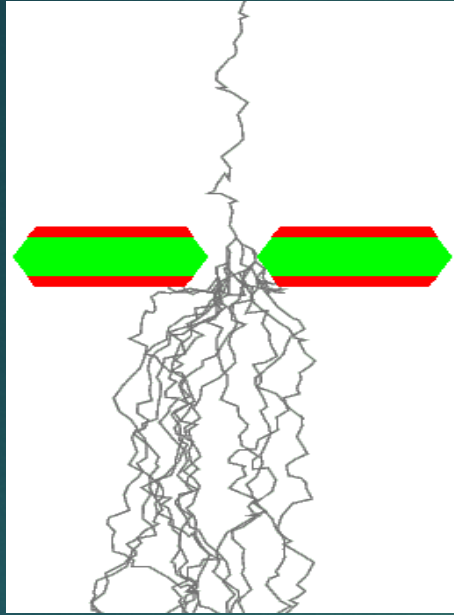


➤ ورقه ی GEM روی یک قاب کشیده می شود و به فاصله ی چند میلیمتری از صفحه ی آنود قرار می گیرد.

➤ میان دو طرف ورقه که از مس پوشیده شده است و به صورت دو الکتروود عمل می نمایند ولتاژ بالا (نوعاً  $350-500V$ ) اعمال می گردد تا میدان الکتریکی بزرگی در حد  $50\text{ kV/cm}$  ایجاد نماید.

➤ میدانهای الکتریکی خارجی در حفره ها متمرکز می شوند.

# ساختار تکثیرکننده ی گازی الکترون (GEM) (ادامه)



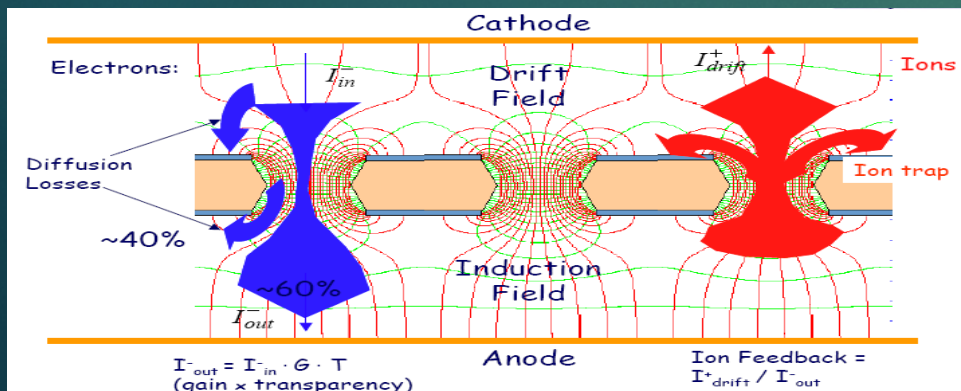
➤ برهمکنش ذره ی واردشونده با گاز داخل محفظه در ناحیه ی رانش بالای GEM، الکترون هایی ایجاد میکند.

➤ این الکترونها به وسیله ی یک میدان رانش متوسط به سمت سوراخهای GEM حرکت داده می شوند.

➤ میدان الکتریکی قوی در GEM باعث می شود که هر الکترون آزاد وارد

شونده به یک سوراخ، بهمن و آبخاری از یونش ایجاد نماید.

➤ بنابراین تعداد الکترونها به صورت نمایی افزایش می یابد



## گاز پرکننده

مخلوط گازی آرگون و  $\text{CO}_2$  به نسبت حجمی ۳۰:۷۰ پرکاربردترین ترکیب گازی در بسیاری از آزمایش‌ها است.

اگرچه این بهترین ترکیب برای رسیدن به بالاترین بهره نیست، اما دارای محاسن زیر می باشد:

😊 غیر قابل اشتعال بودن

😊 پایداری شیمیایی

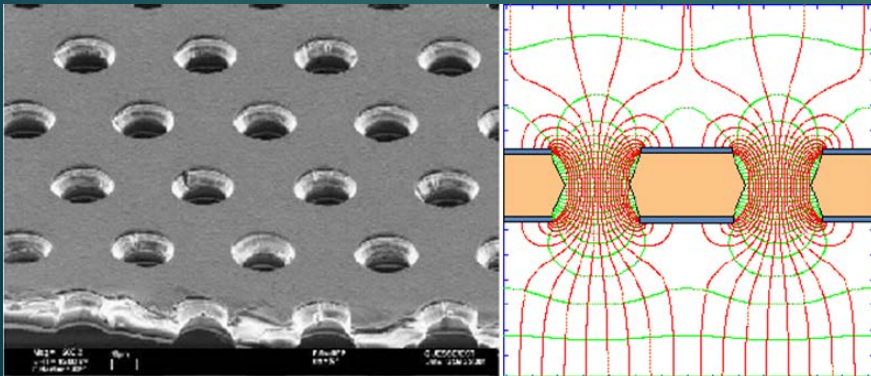
😊 سرعت رانش الکترون سریع

😊 تحت شرایط بهمن‌های سنگین از بین نمی‌رود.

😊 بهره‌ی ثابتی را در طی پرتوگیری طولانی مدت ایجاد می‌نماید.

# چرا تکثیر کننده ی گازی الکترون؟

- ▶ بهره ی تکثیر بسیار بالا در ولتاژهای پایین نسبت به سنسورهای نوری، در نتیجه احتمال تخلیه و جرقه زنی کمتر
- ▶ پایداری بلند مدت و مقاومت پرتویی بالا
- ▶ قدرت تفکیک زمانی بسیار پایین و سرعت جمع آوری بار زیاد
- ▶ دستیابی به قدرت تفکیک مکانی در حد چند ده میکرومتر (بسته به ابعاد استریپهای جمع آوری بار) به صورت یکپارچه
- ▶ سهولت و هزینه ی پایین ساخت به صورت تجاری ، نسبت به تکثیر کننده ها و آشکارسازهای دیگر و قابلیت ساخت در اندازه ها و اشکال مختلف



شبه سازی، ساخت و نتایج تست بخش سوسوزن

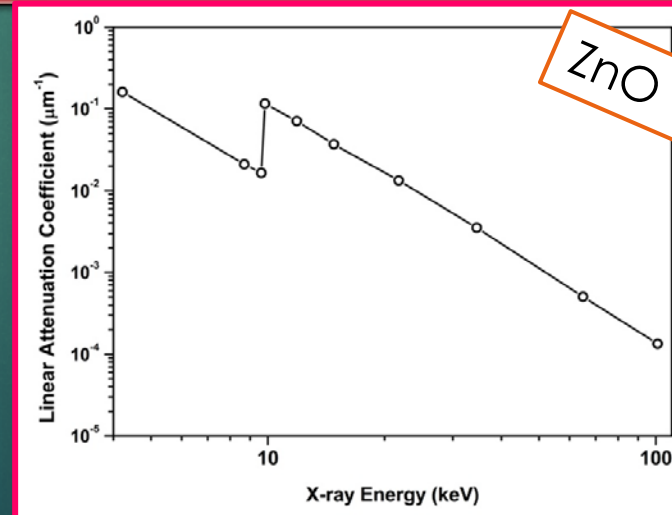
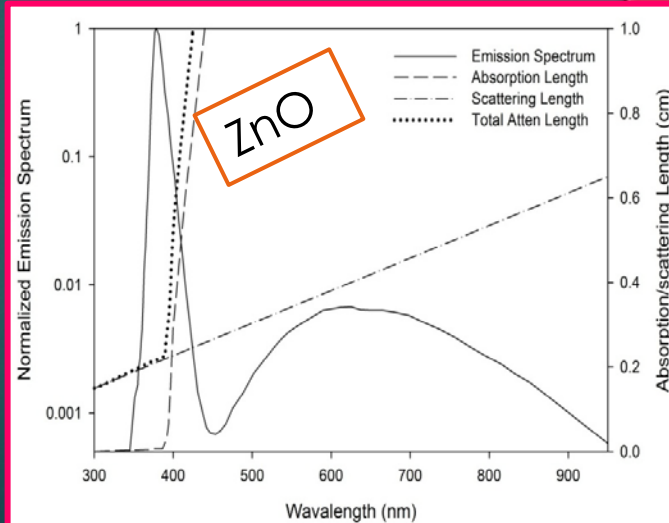
# شبهه سازی بخش سوسوزن: ابزار و روش

کد GEANT4 به  
روش مونت کارلو، به  
زبان C++ و ساختار  
شیء گرا

شبهه سازی ترابرد فوتونهای X و اندرکنش های آن

ترابرد الکترونیهای حاصل از اندرکنش X

رفتار سوسوزنی و اپتیکی ZnO و ترابرد فوتون های  
سوسوزنی درون آن و در سطوح مشترک ZnO با  
AAO و هوا

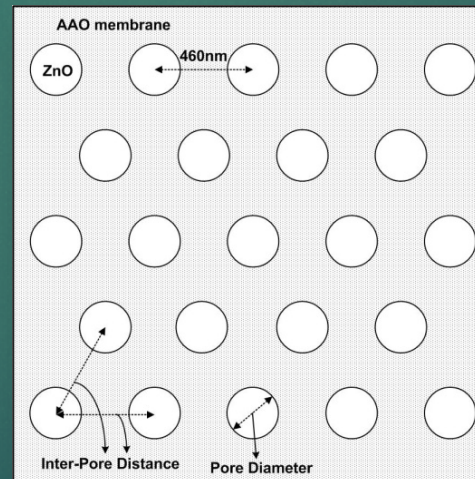
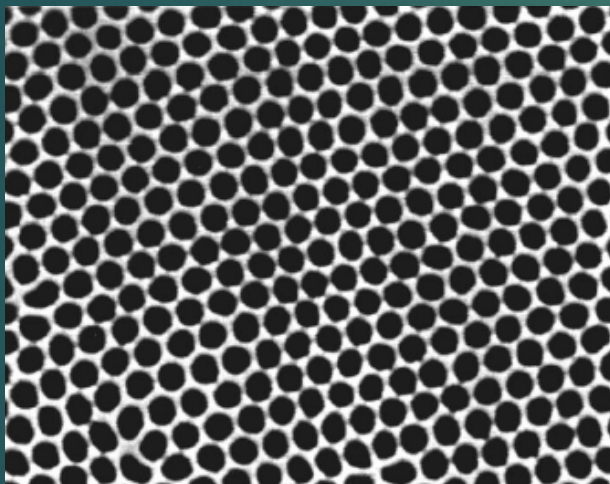


# شبه سازی ساختار بهینه

پیش بینی کردیم ساختار بهینه ساختاری باشد که بتواند بیشترین میزان پرتوی تابیده شده بر آن را جذب کند و درعین حال بیشترین نور خروجی را داشته باشد.

**بیشترین درصد تخلخل برای**  
 AAO ← **بیشترین میزان**  
 ZnO ← **بیشترین سطح و**  
**حجم فعال**

**اکسید آلومینیومی آندایز**  
**شده در اسید فسفریک ۱۰٪**  
**وزنی و دمای ۳ درجه و**  
**ولتاژ ۱۶۰ ولت**



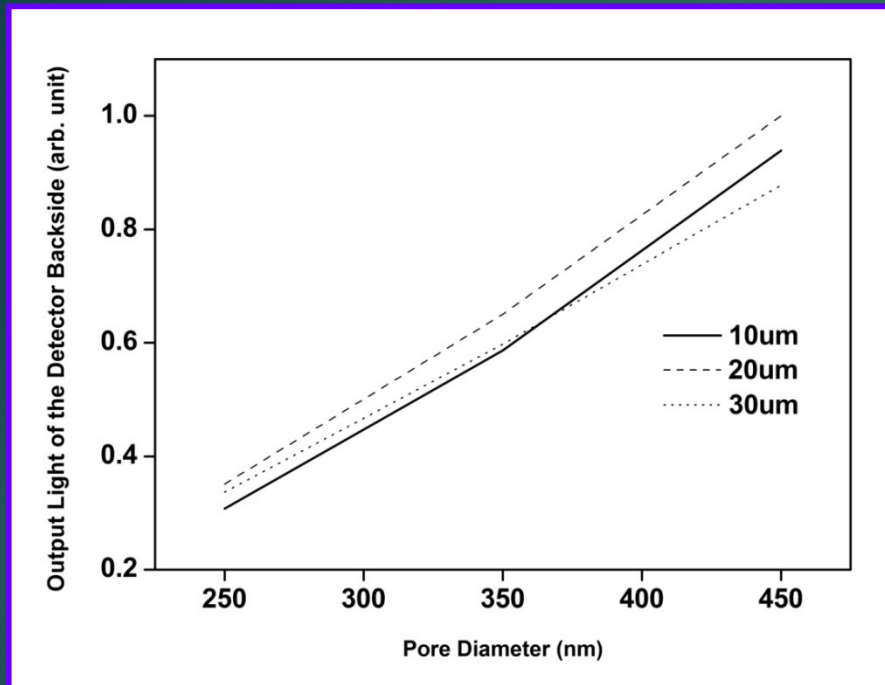
راندمان کوانتومی

قدرت تفکیک مکانی

قدرت تفکیک انرژی

**کمیت های بدست آمده از**  
**شبه سازی**

# شبه سازی ساختار بهینه: راندمان کوانتومی

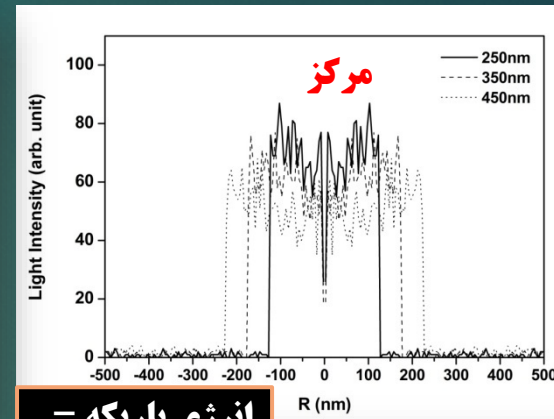
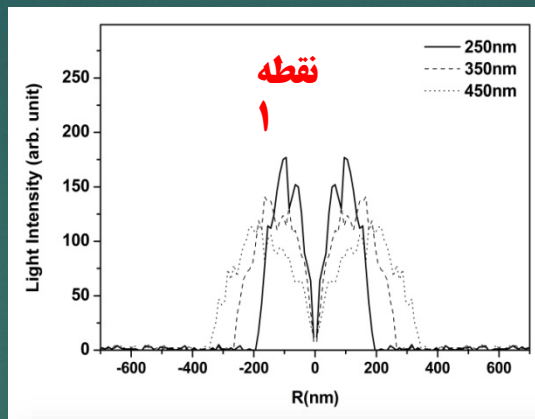
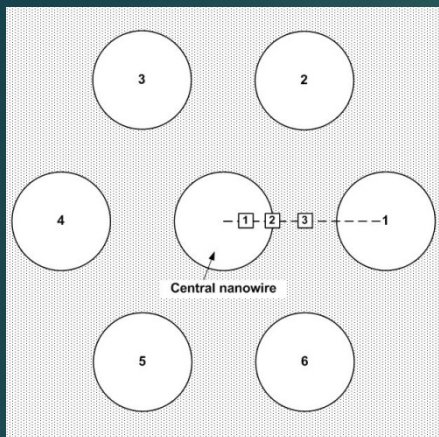


تعداد (نرمالیزه) متوسط فوتون‌های نوری رسیده به انتهای آشکارساز به ازای هر فوتون X از باریکه‌ی سطحی 10keV به ابعاد نمونه

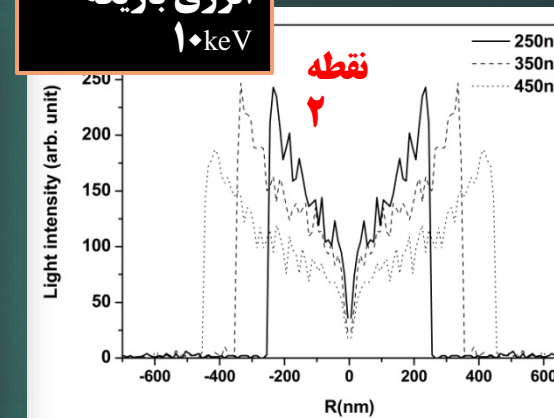
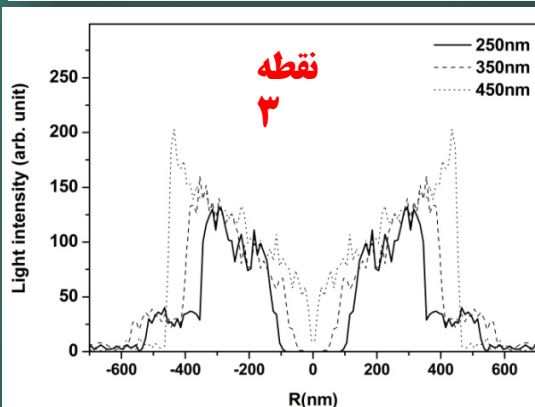
قطر حفره (nm)	۲۵۰	۳۵۰	۴۵۰
نسبت سطح ZnO به کل آشکارساز (%)	۱۷/۸۵	۳۵	۵۷/۸۵
راندمان کوانتومی آشکارساز (%)	۲۳/۹۴	۴۳/۰۳	۶۶/۲۶

با توجه به احتمال اندرکنش و جذب بسیار بالای (نزدیک به ۱۰۰٪) فوتون‌های 10keV در ضخامت ۲۰ میکرومتر، می‌توان گفت که راندمان کوانتومی آشکارساز برابر است با نسبت مساحت سطح حفره‌ها به مساحت سطح کل آشکارساز که مورد تابش قرار می‌گیرد. اما این تعریف رویدادهایی را که در آن‌ها الکترون تولید شده در AAO می‌تواند خود را به ZnO برساند و فوتون مرئی تولید بنماید، در نظر نمی‌گیرد.

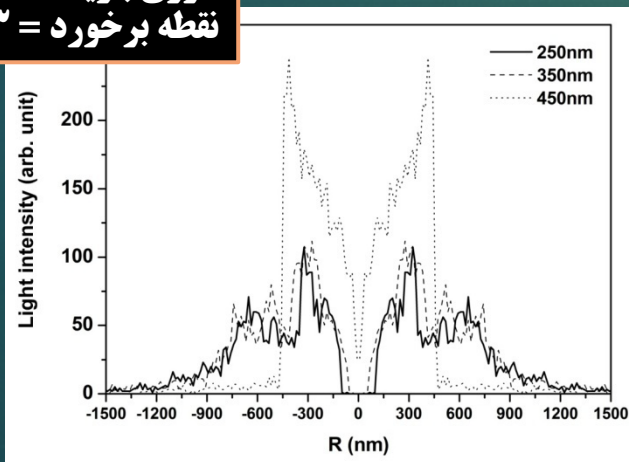
# شبه سازی ساختار بهینه: قدرت تفکیک مکانی



انرژی باریکه =  
10 keV



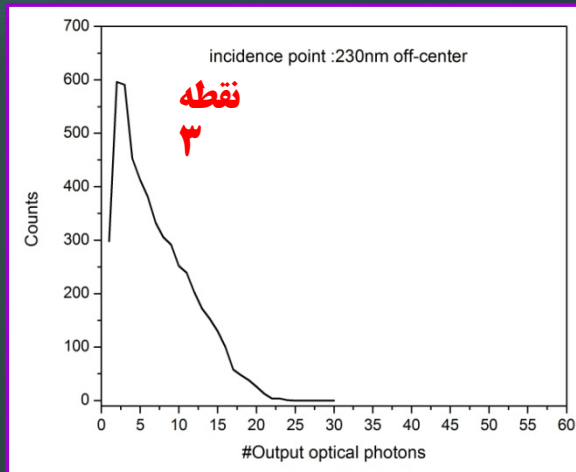
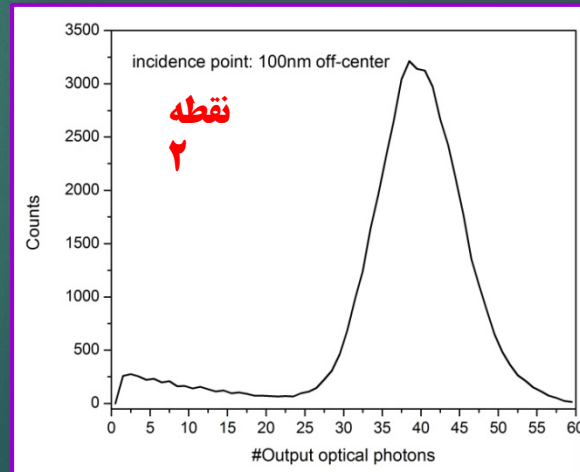
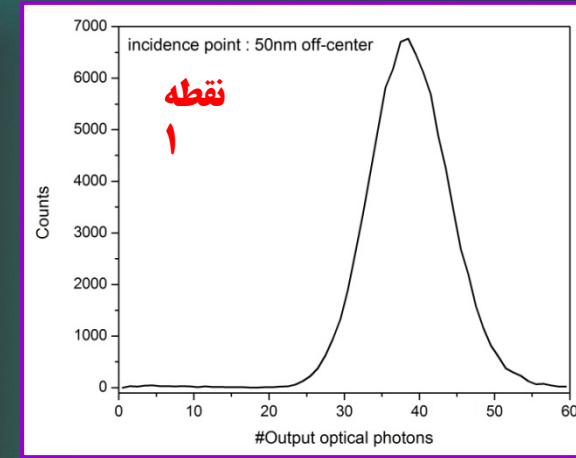
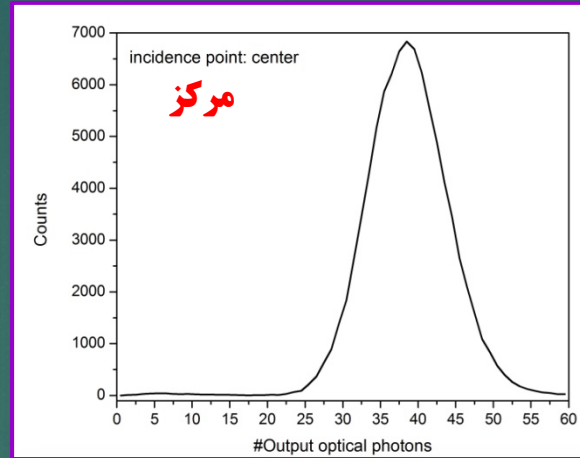
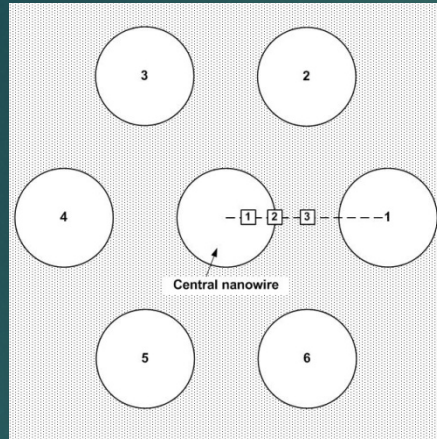
انرژی باریکه = 15 keV  
نقطه برخورد = ۳



قطر حفرات (nm)	نقطه ی برخورد			
	مرکز	۱	۲	۳
۲۵۰	۲۵۰	۳۲۰	۵۲۱	۶۴۰
۳۵۰	۳۵۰	۴۴۵	۷۰۰	۸۰۰
۴۵۰	۴۵۰	۶۰۰	۹۰۰	۹۰۰

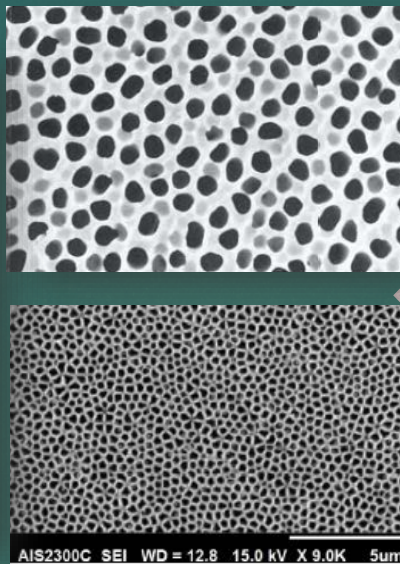
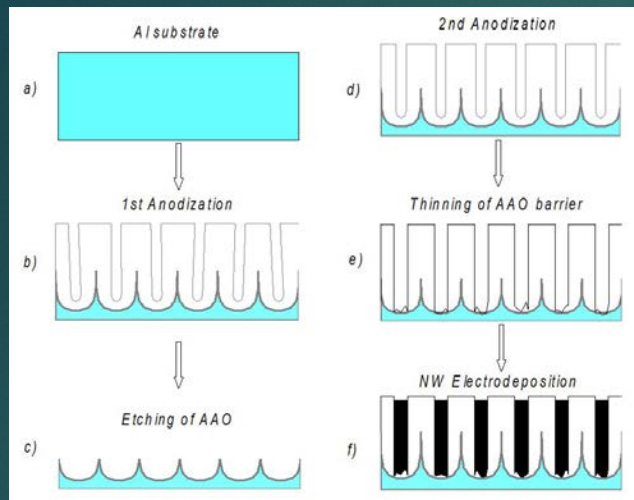
مقادیر FWHM بر  
حسب nm

# شبه سازی ساختار بهینه: قدرت تفکیک انرژی



$$\%R = \frac{FWHM}{\text{Peak Channel}} \times 100 = 26.9\%$$

# ساخت غشای AAO برای لایه نشانی نانوسیم های ZnO



**غشای مورد استفاده**

- غشاهای تجاری ساخت شرکت واتمن. قطر حفرهها = 200 nm و ضخامت این غشاء = 60 μm.
- غشاهای ساخته شده در آزمایشگاه دانشکده با استفاده از اسید فسفریک.

عملیات الکتروپولیش برای رسیدن به سطح هموار و حذف ناهمواری های اتفاقی سطح، درون محلولی از پرکلریک و اتانول برای مدت ۱۰ دقیقه و با ولتاژ ۵ ولت.

عملیات حرارتی به منظور حذف تنش های داخلی نمونه ها و بزرگ شدن دانه های آلومینیوم، به مدت ۳ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد

برش نمونه ای از ورق آلومینیوم با خلوص ۹۹/۹۹٪ شرکت MERCK با ضخامت ۳۰۰ میکرومتر - پرداخت لبه ها برای حذف تیزی - تمیزکاری نمونه

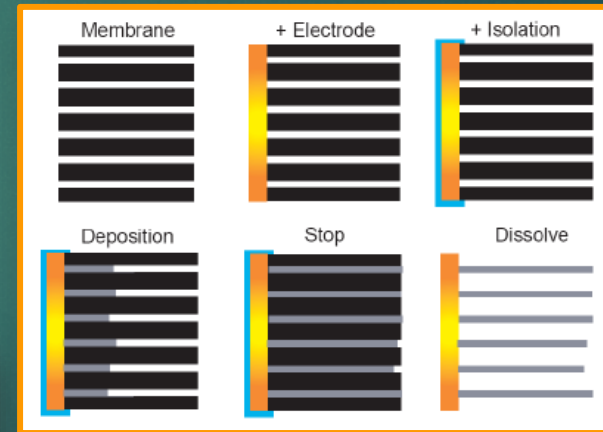
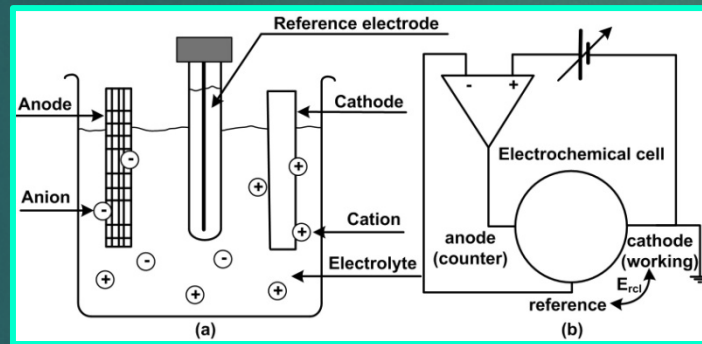
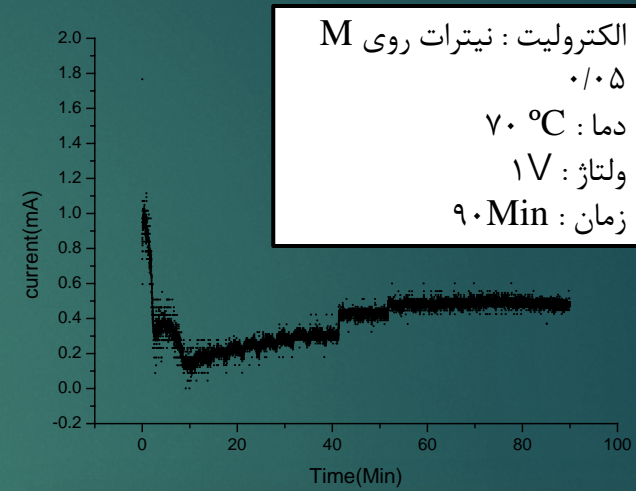
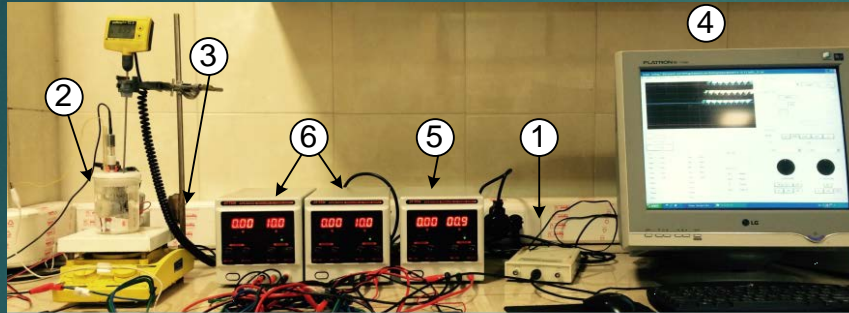
**مراحل ساخت غشای AAO**

فرآیند آندایز مرحله ی اول در محلول اسید فسفریک در آب-متانول و دمای صفر درجه تا ۱ درجه با ولتاژ ۱۶۰ ولت به مدت ۸ ساعت

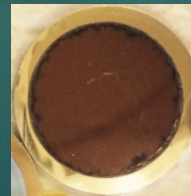
انحلال و حذف اکسید اولیه ی آندی در محلول آبی اسید فسفریک و اسید کرومیک و دمای بین ۶۰ تا ۷۰ درجه و زمان ۴ ساعت

فرآیند آندایز مرحله ی دوم و برداشته شدن زیرلایه ی آلومینیومی و آزادسازی غشاء اکسیدی در محلول اسید فسفریک در دمای ۴۵ درجه

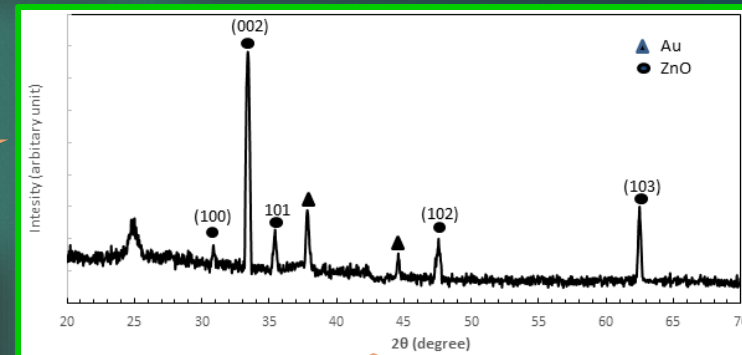
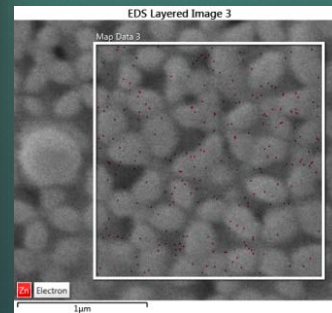
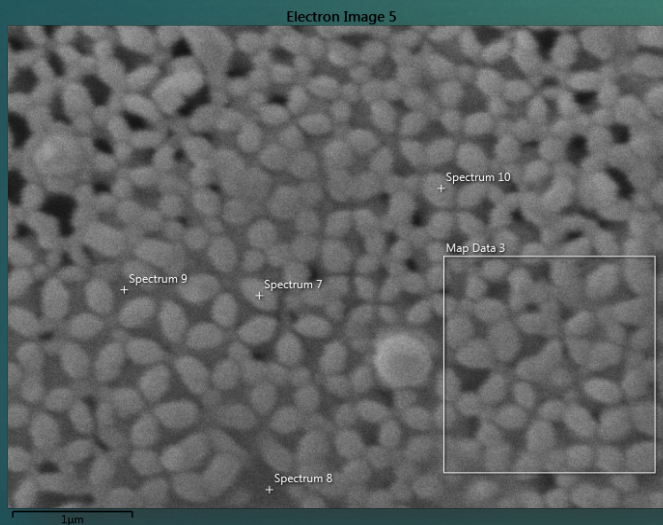
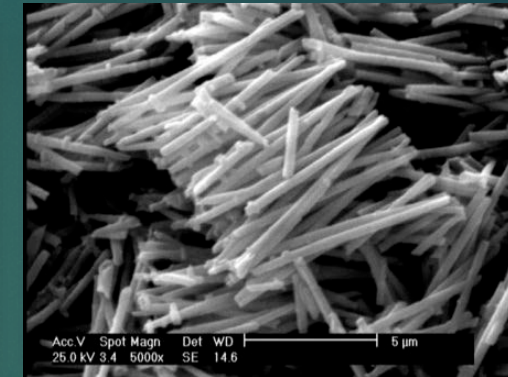
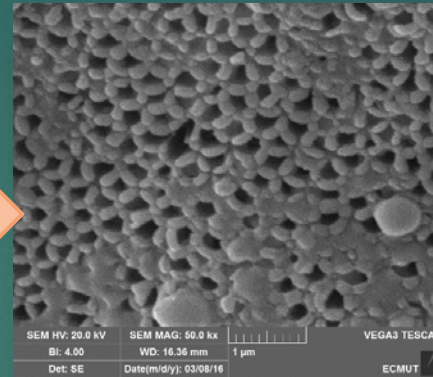
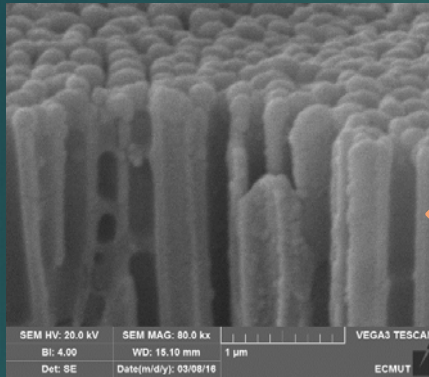
# ساخت : لایه نشانی نانوسیم های ZnO



غشای AAO و اتمن با لایه نشانی طلا



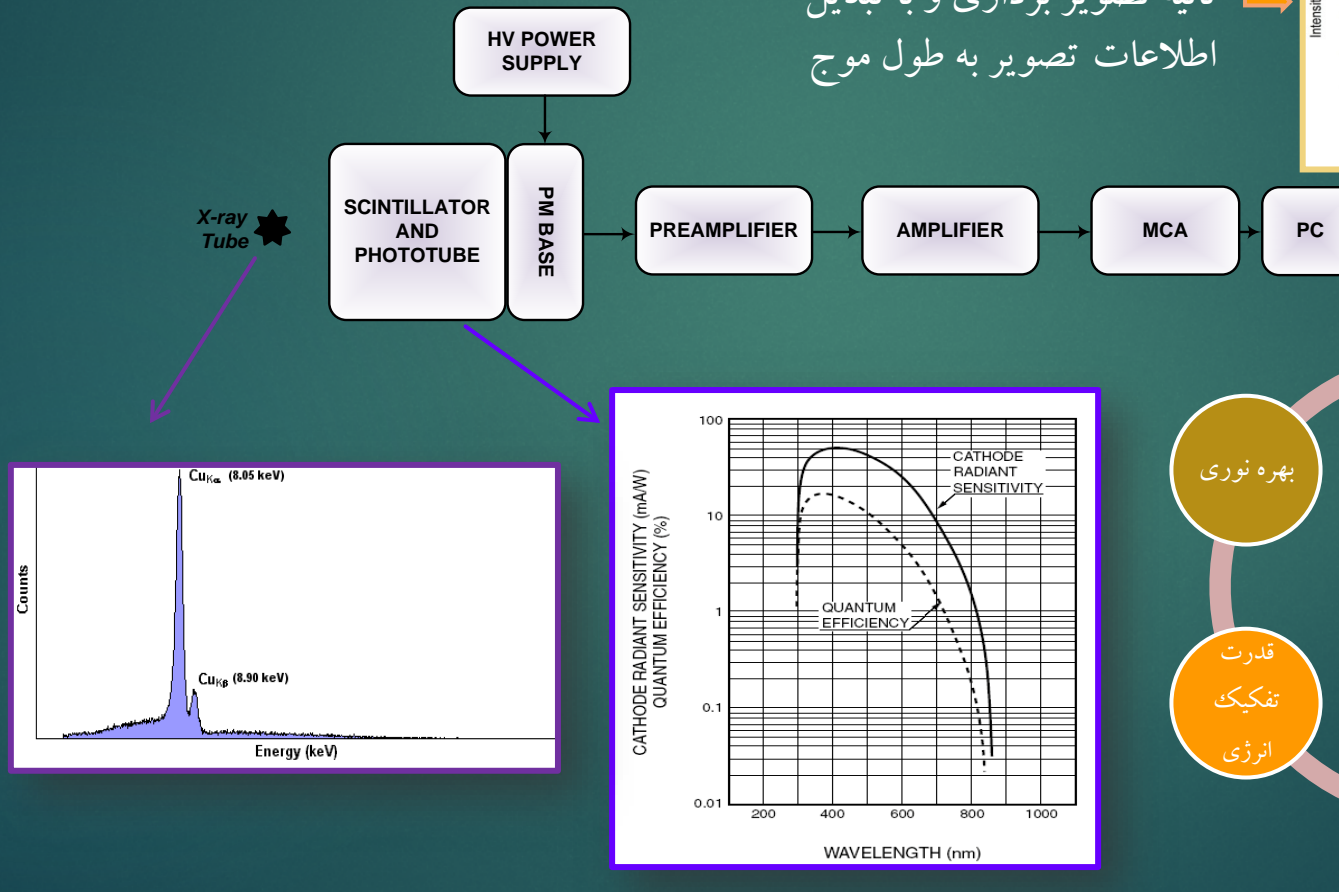
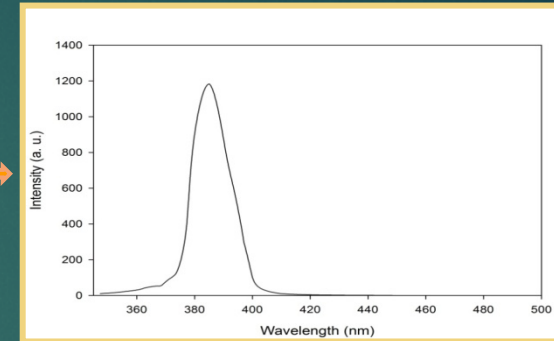
# ساخت : مشخصات ساختاری نانوسیم های ZnO



قله‌ها دلالت بر ZnO با ساختار هشت ضلعی و ثابت‌های شبکه  $a=3/285\text{\AA}$  و  $b=5/126\text{\AA}$  می‌کند. قله‌های باریک و بلند پراش در الگوی XRD بیانگر کیفیت کریستالی خوبی در نمونه است.

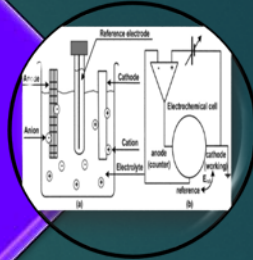
# تست : چیدمان آزمایش

طیف فوتون های خروجی از نانوسیم های ZnO در آزمایش با CMOS و مولد ایکس در ولتاژ ۱۵ keV، طی ۳۰ ثانیه تصویر برداری و با تبدیل اطلاعات تصویر به طول موج

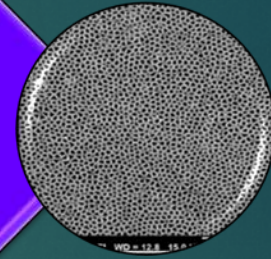


# نتیجه گیری و بحث در مورد بخش سوسوزن

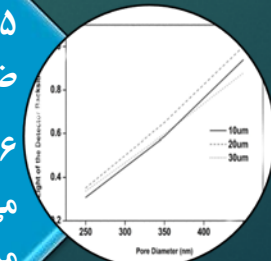
- ۱- تولید نانوسیم‌های ZnO به صورت پلی کریستالی با طول  $10\ \mu\text{m}$  یا بیشتر در قالب آزمایشگاهی و تجاری
- ۲- نمونه‌های تولید شده در قالب تجاری در یک آزمایش ۴ مرحله‌ای تحت تابش پرتوی ایکس  $9/8\ \text{keV}$  قرار گرفتند و طیف حاصل از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.



- ۳- برآوردی تجربی برای ضخامت قالب  $\text{AAO} = 62$  میکرومتر - نسبت به مقدار اسمی آن ۳٪ خطا دارد
- ۴- ضخامت (طول نانوسیم‌های) ZnO نیز ۱۲ میکرومتر برآورد گردید که همخوانی خوبی با مقدار بدست آمده از تصاویر SEM دارد.

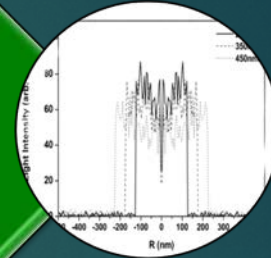


- ۵- مقدار بهینه ضخامت ZnO برای پرتوی ایکس با انرژی  $10\ \text{keV} = 20$  میکرومتر - با افزایش انرژی ایکس این ضخامت افزایش می‌یابد.
- ۶- با افزایش قطر نانوسیم‌ها، به دلیل افزایش نسبت حجم ZnO به کل حجم آشکارساز، راندمان نیز افزایش می‌یابد. با توجه به ساختار مورد نظر، بیشینه قطر برابر با ۴۵۰ نانومتر و راندمان متناظر آن برای ضخامت ۲۰ میکرومتر، برابر ۶۶٪ است.



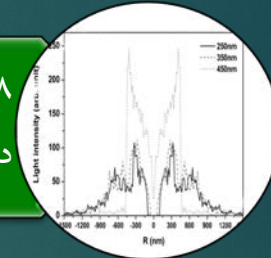
# نتیجه گیری و بحث در مورد بخش سوسوزن (ادامه)

۶- میزان پخش شدگی نور خروجی در انرژی ایکس  $10\text{keV}$  با افزایش قطر نانوسیم ها افزایش می یابد و در قطر  $450\text{nm}$  برابر با  $900\text{nm}$  است.



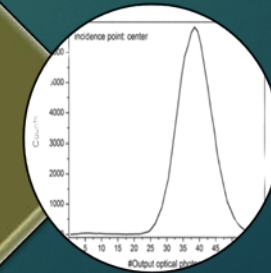
۷- پخش شدگی نور خروجی نمونه ی ساخته شده حداکثر به اندازه ی یک پیکسل CCD مورد استفاده (۲ میکرومتر) است.

۸- پخش شدگی نور برای یک نمونه  $\text{ZnO}$  بالک به ضخامت  $20\text{nm}$  میکرومتر، از طریق شبیه سازی  $50\text{nm}$  میکرومتر به دست آمده است که بیش از  $50\%$  برابر پخش شدگی نور در نمونه ی نانوسیم های  $\text{ZnO}$  است.



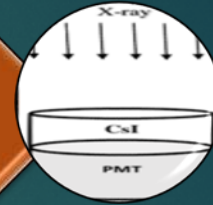
۱۰- در روش تجربی رزلوشن انرژی آشکارساز نانوسوسوزن  $= 29\%$  - در روش شبیه سازی  $= 26/9\%$

رزلوشن انرژی آشکارساز یدور سدیم برای انرژی  $10\text{keV}$   $= 26\%$ .

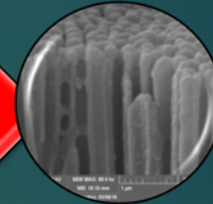


# نتیجه گیری و بحث در مورد بخش سوسوزن (ادامه)

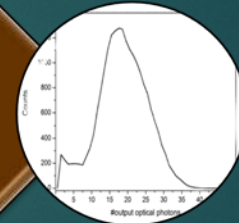
۱۱- بهره نوری نانوسیمهای ZnO (تعداد فوتون نوری تولید شده به ازای انرژی جذب شده) به روش تجربی =  $8500$  فوتون به ازای هر  $MeV$  انرژی جذب شده  
این عدد نزدیک به بهره نوری ZnO بالک ( $9000$  فوتون) است.



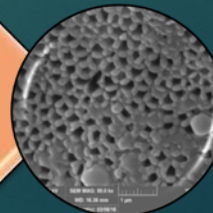
۱۲- راندمان کوانتومی آشکارساز (نسبت تعداد فوتونهای سوسوزنی تولید شده در ZnO، به تعداد کل فوتونهای  $X$  برخورد کرده به آشکارساز) با استفاده از شبیه سازی =  $28\%$  - با اندازه گیری تجربی =  $24\%$



۱۳- وجود غشای اکسید آلومینیوم موجب پهن شدگی و عدم تقارن طیف در کانالهای پایین می شود.



۱۴- درصد تخلخل تجربی برای AAO برابر است با نسبت سطح تولید و خروج فوتون سوسوزنی به کل سطح آشکارساز. این مقدار برابر با  $37\%$  به دست آمد که بیشتر از درصد تخلخل قالب مورد استفاده یعنی  $30\%$  است و علت آن ورود برخی از الکترونهای تولید شده در AAO به ZnO و سوسوزنی است.



# نتیجه گیری و بحث در مورد بخش سوسوزن (ادامه)

۱۵- ۶٪ پرتوهای X در محدوده انرژی مطلوب در لایه‌ی طلا با ضخامت ۳۰۰ میکرومتر جذب می‌شوند. بنابراین این امر موجب افزایش راندمان سوسوزنی آشکارساز برای محدوده‌ی انرژی مشخص شده از ۲۴٪ به ۳۰٪ می‌شود.



۱۶- راندمان آشکارساز با قالب AAO = ۳۰٪ - راندمان آشکارساز با قالب پلی کربناتی = ۱۶٪ - این خود گام بزرگی در جهت کارآمدی این آشکارساز برای مقاصد تصویربرداری پزشکی است.



۱۷- پخش شدگی نور در این آشکارساز، در صورت همراه شدن با آشکارسازهای نوری و دوربین‌های CCD و CMOS بیشتر از یک پیکسل نیست، و در صورت همراه شدن با آشکارساز حساس به مکان GEM آنقدر محدود است که بر تفکیک مکانی آشکارساز تأثیر محسوسی نخواهد گذاشت.



۱۸- استفاده از مبدل نانوسوسوزن موجب افزایش راندمان جذب پرتوی ایکس در آشکارساز GEM می‌شود؛ که البته این مستلزم استفاده از یک فوتوکاتد مناسب است.



# شبه سازی، ساخت و نتایج تست بخش گازی (GEM)

# ابزار و روش شبیه سازی

حل معادلات به روش المان  
محدود و با نرم افزار COMSOL

شبیه سازی آشکارساز GEM شامل حل یک سری معادلات در هندسه ی آشکارساز و با توجه به شرایط مرزی آن برای بدست آوردن تعداد (غلظت) الکترونها ی تکثیر شده در ساختار آشکارساز و در نهایت بهره ی تکثیر است.

معادله پواسون

$$\Delta\varphi = 0$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$$

پتانسیل الکتریکی

چگالی جریان ذره

$$\vec{\Gamma}_e = -\mu_e(E)n_e\vec{E} - D_e(E)\Delta n_e$$

$$\vec{\Gamma}_p = \mu_p(E)n_p\vec{E} - D_p(E)\Delta n_p$$

چگالی جریان نقطه ای الکترون

معادلات پیوستگی

$$\partial_t n_e + \text{div } \vec{\Gamma}_e = S_e$$

$$\partial_t n_p + \text{div } \vec{\Gamma}_p = S_p$$

$$S_e = S_p = \frac{\alpha(E)j_e}{|e|} \quad j_e = -|e|\vec{\Gamma}_e$$

$$D_{e,p} = \frac{kT_{e,p}\mu_{e,p}(E)}{|e|}$$

جمله منبع

ثابت پخش

ضریب تونسل

(Townsend) در گازها،

به دست آمده از نرم

افزار گارفیلد (Garfield)

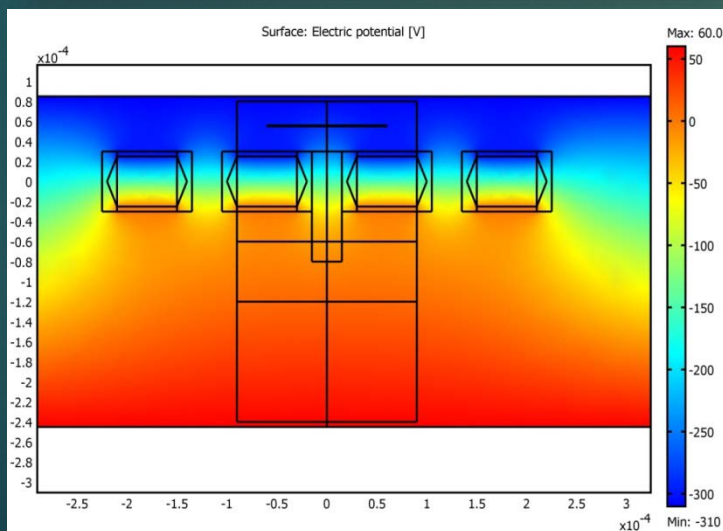
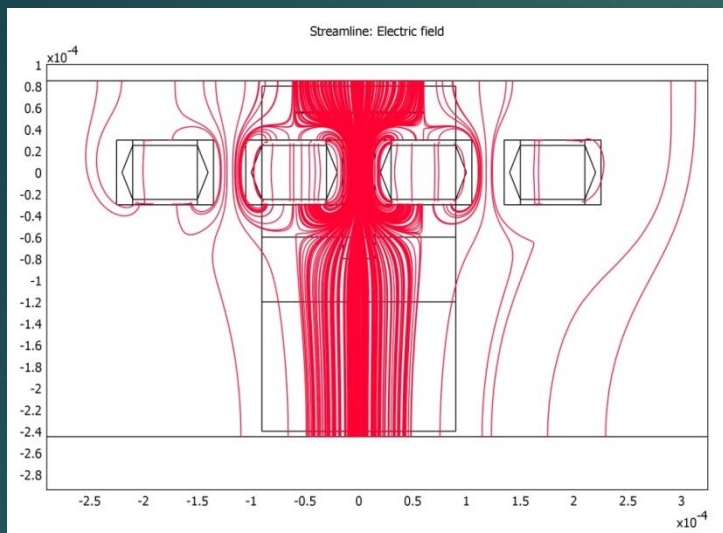
مراحل شبیه سازی

۱- حل معادله ی پواسون در حالت ماندگار (بدون تغییرات زمانی) و محاسبه میدان الکتریکی برای تمام نقاط (گره های رئوس مش ها در فضا) میدان الکتریکی با توجه به شرایط مرزی یعنی ولتاژ اعمال شده به الکترودها

۲- ذخیره مقادیر به دست آمده برای میدان الکتریکی برای استفاده در معادلات پیوستگی

۳- حل معادلات پیوستگی به صورت متغیر با زمان. برای حل این معادلات باید علاوه بر مش بندی فضا، زمان را نیز تقسیم بندی نماییم و معادله را در گام های زمانی حل نماییم.

# شبه سازی - محاسبه ی میدان الکتریکی



▶ به دلیل ساختار متقارن GEM در دو بعد و از طرفی، به دلیل فاصله ی کم میان حفره ها و امکان تأثیر گذاری حفره ها بر روی یکدیگر، یک حفره ی مرکزی و دو حفره ی واقع شده در طرفین حفره ی مذکور را در نظر می گیریم.

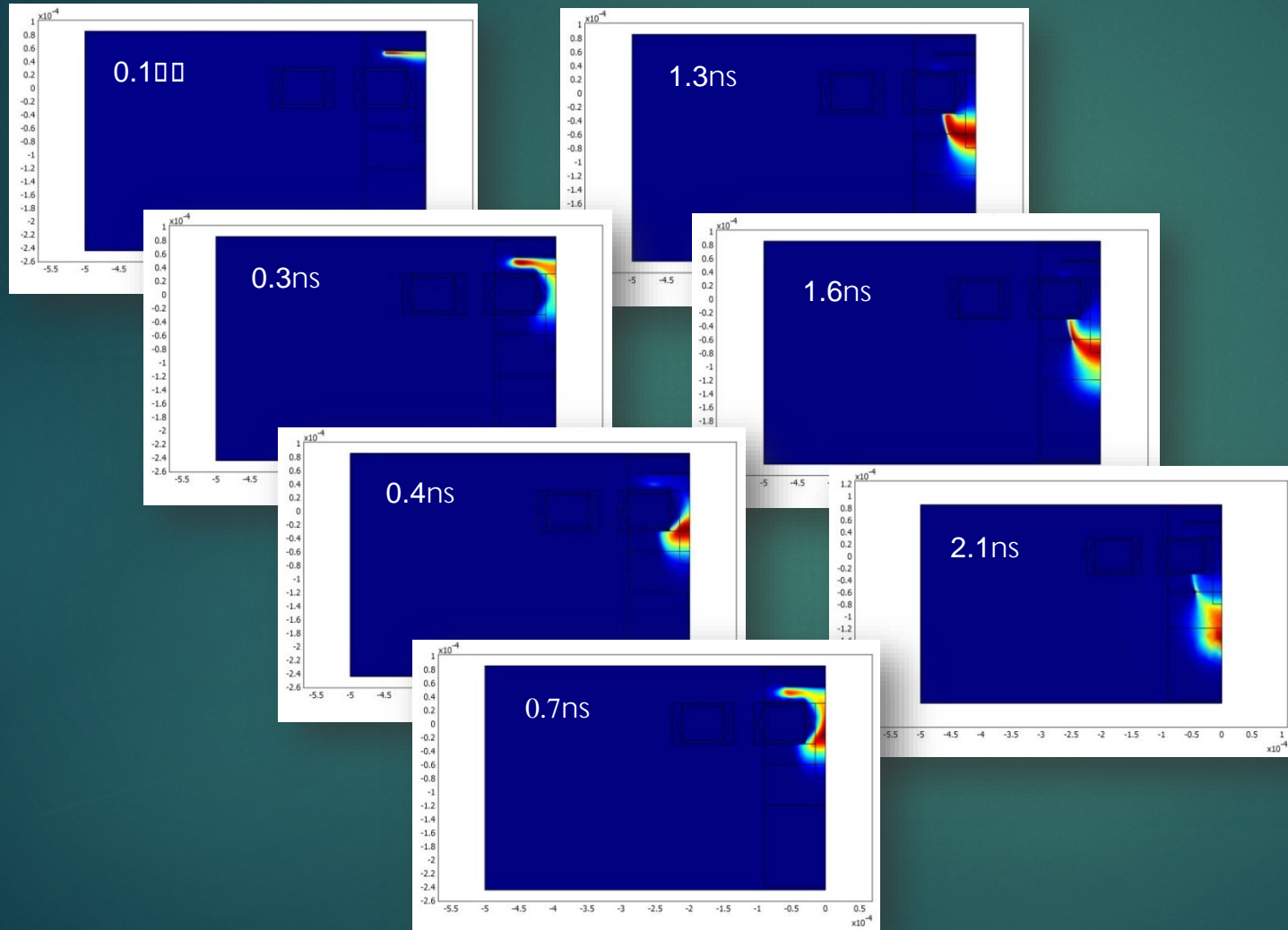
▶ حفره ی GEM دارای ساختار دو مخروطی با قطرهای  $40\ \mu\text{m}$  و  $60\ \mu\text{m}$  است که فاصله ی بین حفرات  $120\ \mu\text{m}$  است. ضخامت ورقه  $50\ \mu\text{m}$  است.

▶ اختلاف پتانسیل  $300\ \text{V}$  میان دو الکترود زیرین و بالایی GEM، اختلاف پتانسیل  $10\ \text{V}$  میان الکترود بالایی و کاتود و اختلاف پتانسیل  $60\ \text{V}$  میان الکترود زیرین و آنود اعمال شده است.

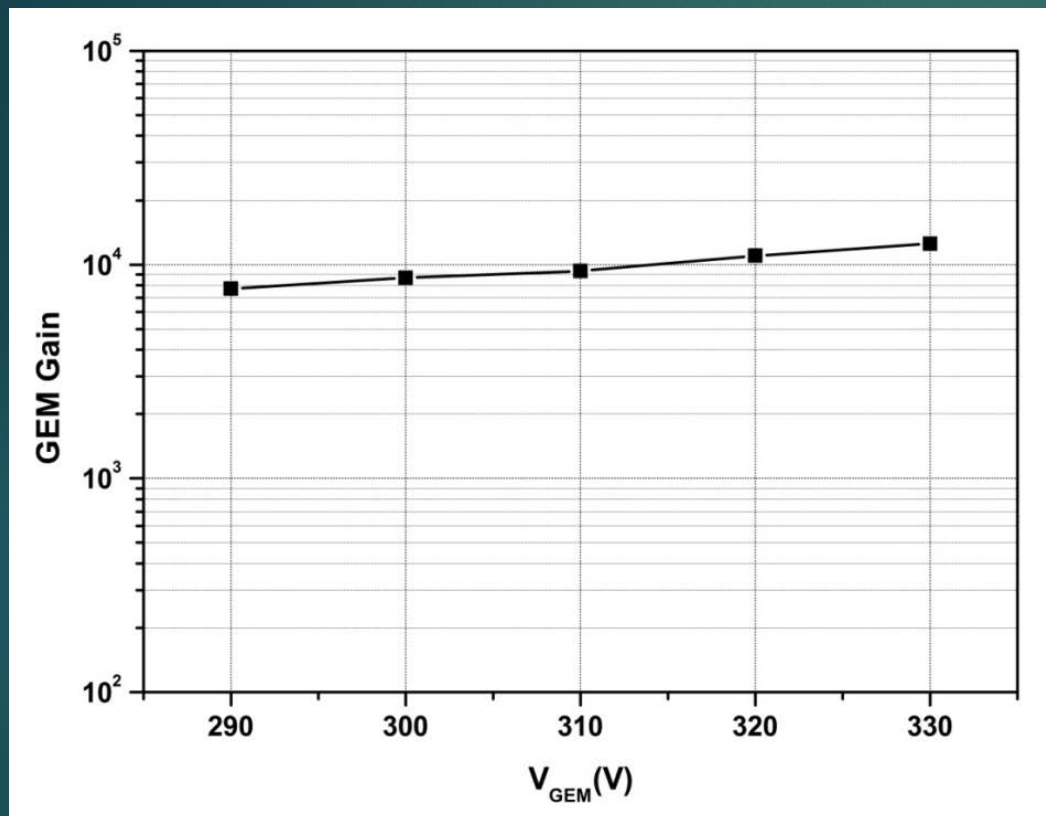
▶ بیشترین مقدار میدان الکتریکی در داخل حفره برابر با  $6/3 \times 10^6\ \text{V/m}$  است. بیشترین مقدار میدان الکتریکی کل ساختار در محل مجاورت الکترودهای زیرین و بالایی GEM با دیواره ی حفره و برابر با  $1/79 \times 10^7\ \text{V/m}$  است. این مقدار بسیار کمتر از قدرت دی الکتریک کپتون با ضخامت  $50\ \mu\text{m}$  ( $2/4 \times 10^8\ \text{V/m}$ ) است.

# شبه سازی – محاسبه ی غلظت الکترون ها

از آنجایی که تنها الکترون ها در فرآیند تکثیر شرکت می کنند، بنابراین ما تنها به حل معادله ی پیوستگی برای الکترون پرداختیم. به عنوان شرایط اولیه این معادلات، یک بار خطی به طول  $120\mu\text{m}$  در فاصله ی  $25\mu\text{m}$  از حفره ی مرکزی در نظر می گیریم. این بارخطی، نشان دهنده ی مکان متوسط برخورد یک ذره ی یونیزان است.



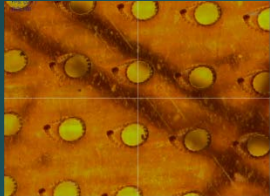
## شبه سازی - بهره ی تکثیر GEM



- ▶ بهره ی آشکارساز گازی برابر است با تعداد الکترون های حاصل از تکثیر، به تعداد الکترون های اولیه.
- ▶ در آشکارساز GEM این کمیت وابسته به اختلاف ولتاژ اعمال شده بر GEM است.
- ▶ با افزایش ولتاژ GEM، بهره ی تکثیر در آن افزایش می یابد، البته این تغییرات چندان شدید نیست.
- ▶ با بالا بردن ولتاژ می توان به بهره های بسیار بالا دست یافت. اما عامل محدود کننده در این مورد، توان تحمل میدان الکتریکی در کپتون است.

# ساخت - ورقه ی GEM

ساخت تجاری ورقه های GEM همواره به روش خوردگی انجام می شود. ما با توجه به امکانات و بودجه در دسترس خود ۳ روش را در پیش گرفتیم تا بتوانیم یک ورقه ی GEM با ابعاد بهینه و استاندارد (قطر حفرات ۷۰ میکرومتر و فاصله ی بین حفرات ۱۴۰ میکرومتر) بسازیم:



• مشکل اصلی در این روش: شرکت مورد نظر تنها توانایی سوراخکاری کپتون را بدون لایه ی مس داشت. - لایه نشانی فلز پس از سوراخکاری - نفوذ ذرات فلز در هنگام لایه نشانی جریان نشتی بسیار بزرگی را ایجاد می کند. در نتیجه، این روش با شکست مواجه شد.

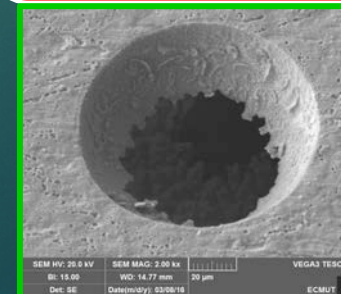
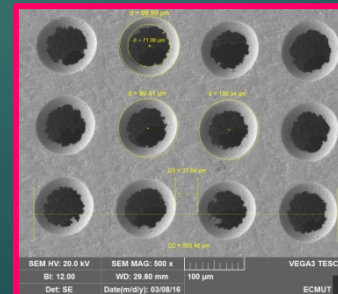
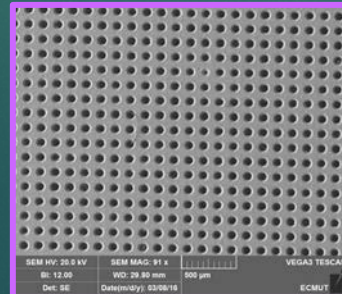
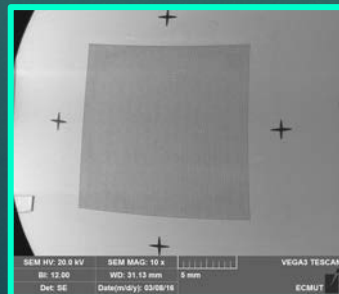
## ۱- سوراخکاری با لیزر

در آزمایشگاه میکروالکترونیک جهاد دانشگاهی صنعتی شریف انجام شد، که علی رغم تلاش فراوان متخصصین این آزمایشگاه به مدت حدود یک سال، این روش موفقیت آمیز نبود.

## ۲- روش خوردگی شیمیایی (Wet Etching)

سفارش به آزمایشگاه میکروالکترونیک دانشگاه صنعتی مالک اشتر - آغاز کار را با سوراخکاری یک ورقه ی پلی کربنات - ایجاد تعداد زیادی سوراخ با ابعاد نسبتاً دقیق در آن - پس از تست نمونه معلوم شد که میزان خوردگی پلی کربنات زیر لایه ی مس بسیار بیشتر از حد پیش بینی شده صورت گرفته و لایه های رویی و زیرین مس با هم اتصال پیدا کرده اند.

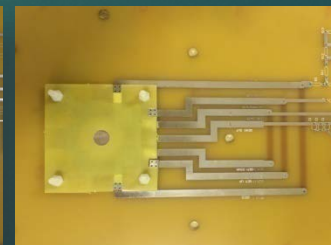
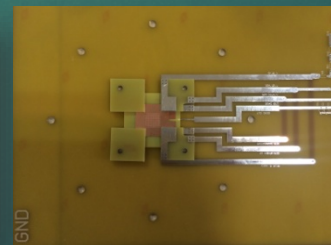
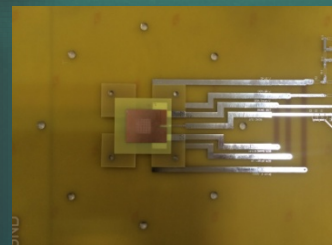
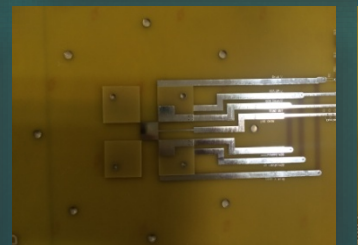
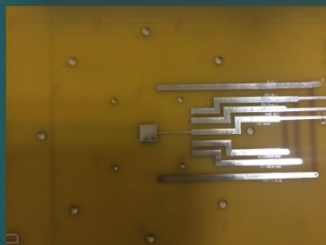
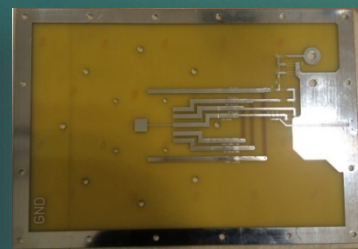
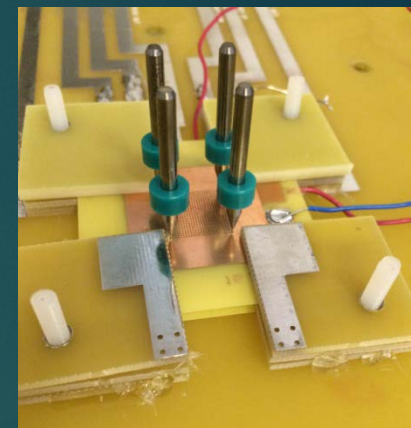
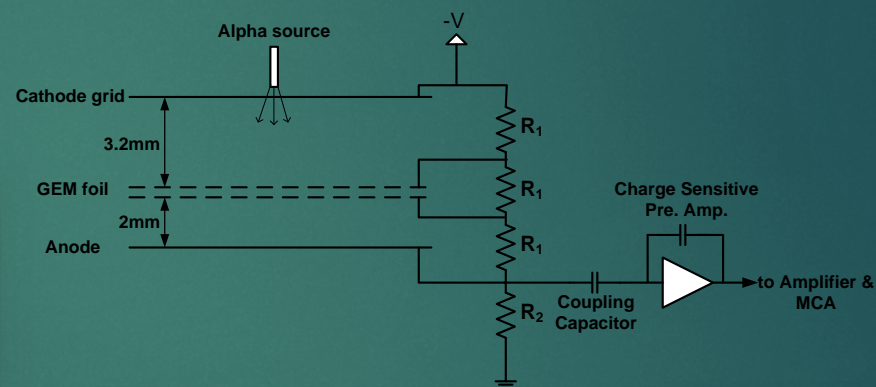
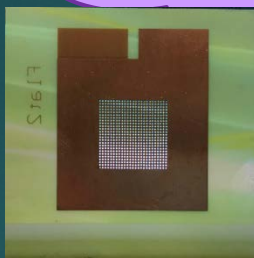
## ۳- روش خوردگی فیزیکی (Plasma Etching)



# ساخت - Thick GEM و محفظه گازی

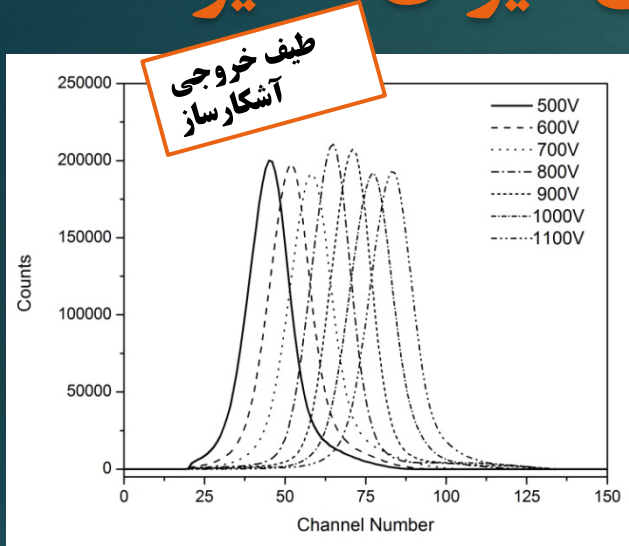
ساخت یک Thick GEM از فیبر مدارچاپی با ضخامت ۲۵۰ میکرومتر و با سوراخهایی به قطر ۳۰۰ میکرومتر که به وسیله‌ی مته در آن ایجاد شد

محفظه‌ی گازی، محفظه‌ای از جنس پلی اتیلن است که بر روی یک برد مدار چاپی سوار می‌شود. برد مدار چاپی محل پیاده سازی صفحه‌ی آند و مدار تقسیم پتانسیل میان دو طرف ورقه‌ی GEM، آند و کاتد است.



مراحل سوار کردن ورقه  
ی GEM روی برد

# تست - تابش با پرتوی آلفا و اندازه گیری میزان تکثیر



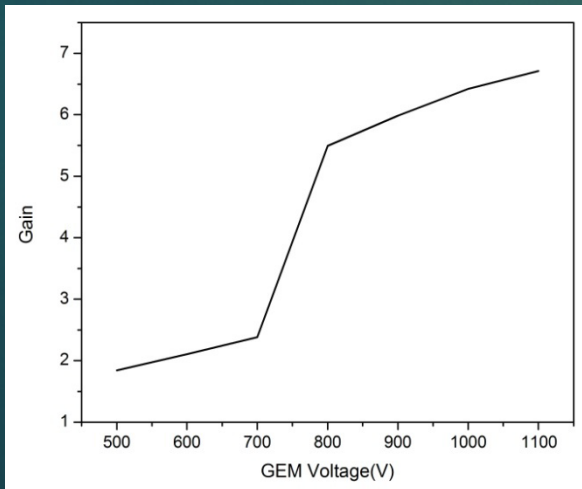
چشمه‌ی آلفای رادیم ۲۲۶ را از محل سوراخ تعبیه شده در محفظه گاز داخل محفظه کردیم به گونه‌ای که دیواره‌ی چشمه در تماس با شبکه‌ی کاتد قرار گیرد. سپس با اعمال ولتاژهای مختلف به دو سر GEM، طیف خروجی را در MCA در زمان ۱۰۰ ثانیه ثبت کردیم.

بار متوسط جمع آوری شده در هر ولتاژ

$$\bar{Q} = \frac{N_1 Q_1 + N_2 Q_2 + \dots + N_m Q_m}{N_1 + N_2 + \dots + N_m}$$

بار متناظر با کانال m ام که با کالیبراسیون سیستم آشکارسازی (پیش تقویت کننده، تقویت کننده و MCA) به دست می آید.

شمارش مربوط به کانال m ام از طیف متناظر با ولتاژ مربوطه



ضریب تکثیر آشکارساز در هر ولتاژ برابر است با بار متوسط تولید شده در آن ولتاژ تقسیم بر بار اولیه‌ی تولید شده توسط ذرات حاصل از چشمه در گاز.

از توجه شما عزیزان سپاسگزارم