بررسی عملکرد آشکارساز نیم عایق گالیوم آرسنایید(GaAs) برای آشکارسازی ذرات آلفا

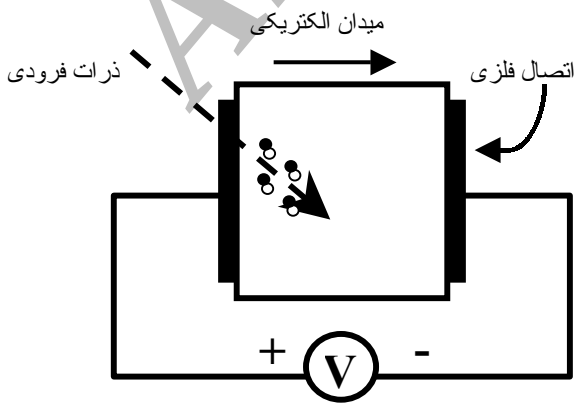
محمد دارایی، محمد اسماعیل عظیم عراقی: دانشگاه تربیت معلم تهران
ماهیار نوشیروانی: مرکز تحقیقات لیزر سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در این مقاله، نتایج حاصل از عملکرد یک آشکارساز سد پتانسیل سطحی با زیرلایه نیمه‌عایق $GaAs$ که در دمای اتاق و خلأ 10^{-4} $Torr$ تحت تابش ذرات آلفا با انرژی ۵/۴۸ MeV از چشمه Am^{241} قرار گرفته است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. قدرت تفکیک انرژی آشکارسازهای با قطر تماس شاتکی ۲ و ۳ میلی‌متر بررسی و با هم مقایسه می‌شوند. اثر تغییرات ولتاژ بر قدرت تفکیک‌پذیری آشکارسازها بررسی شده است.

مقدمه

یکی از انواع آشکارسازهای تابش، آشکارساز بر پایه نیمرسانا است. آشکارسازهای با زیرلایه Si به‌علت ارزانی و فراوانی مواد اولیه و تکنولوژی پیشرفته‌تر نسبت به سایر مواد، پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. از طرفی آشکارسازهای $GaAs$ به علت بزرگی گاف انرژی قابلیت آشکارسازی تابش هسته‌ای در دمای اتاق را دارند[۱]. همچنین به‌علت دارا بودن گاف انرژی مستقیم و بسیاری تحرک حامل‌های بار، سرعت پاسخگویی زیادی از خود نشان می‌دهند[۲]. از همین رو اخیراً در ستارشناسی، طیف‌سنجی صنعتی و تصویربرداری پزشکی[۳] مورد استفاده قرار گرفته اند. شکل۱ نمایی از یک آشکارساز سد پتانسیل سطحی است[۳]،[۵]:



شکل ۱.آشکارساز سد پتانسیل سطحی، شامل زیرلایه نیمرسانا و دو اتصال فلزی شاتکی و اهمی در دوطرف آن

دریافت ۸۵/۰۷/۲۱ پذیرش ۸۶/۹/۱۱

Archive of SID
www.SID.ir

این آشکارسازها با قرار دادن یک لایه فلز در یک سمت نیمرسانا به منظور برقرار کردن اتصال اهمی و یک لایه فلز در سمت دیگر نیمرسانا برای شکل دادن اتصال شاتکی ساخته می‌شوند و ناحیه تهی مورد نیاز را همین اتصال شاتکی ایجاد می‌کند و لذا به رشد لایه p یا n بر روی زیرلایه نیازی نیست.

روش کار

آشکارسازهای مورد استفاده در این مقاله در بخش آپتوالکترونیک صنایع نیمه هادی ساخته و پاسخ آن‌ها به ذرات α در بخش واندوگراف مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران آزمایش شده است. این آشکارسازها از زیرلایه نیمه‌عایق $GaAs$ رشد داده شده به روش LEC [۱] تهیه شده‌اند. مشخصات زیرلایه $GaAs$ در جدول ۱ آورده شده است.

ضخامت نمونه‌ها با استفاده از سایش مکانیکی به μm ۴۰۰، μm ۳۰۰ و μm ۲۰۰ کاهش داده شده است، سپس هر دو وجه قطعات به روش سایش با پودر ۳ میکرون اکسید آلومینیوم صیقل داده شدند. زیرلایه‌های صیقل داده شده به ابعاد کوچک‌تری بریده می‌شوند.

به منظور ایجاد اتصال اهمی، لایه‌ای از آلیاژ $Au/Ge/Ni$ را به روش تبخیر و در شرایط خلأ 10^{-3} پاسکال بر پشت نمونه نشاندیم. سپس آن‌را به مدت ۶۰ ثانیه در دمای $420C$ حرارت داده تا اتصال اهمی مناسب بوجود آید. روی دیگر نمونه را در همان شرایط خلأ با یک لایه فلز Au پوشاندیم و سپس بر روی آن به کمک فرآیند لیتوگرافی طرح‌های دایره‌ای شکل با قطرهای ۲ و ۳ میلی‌متر ایجاد کردیم[۱۰]. قبل از فلزنشانی زیرلایه‌ها را با استفاده از استون گرم، تتراکلریدکربن و متانل شستشو می‌دهیم. در پایان قطعات با چسب نقره بر روی پایه نصب شدند.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی زیرلایه $GaAs$

چگالی حامل‌ها [cm^{-3}]	تحرک [$cm^2V^{-1}s^{-1}$]	جرم [gr]	ناخالصی	راستای تک بلور
$<10^{15}$	5×10^{3}	۳/۲۶۲	Cr	(۱۰۰)

بحث و نتایج

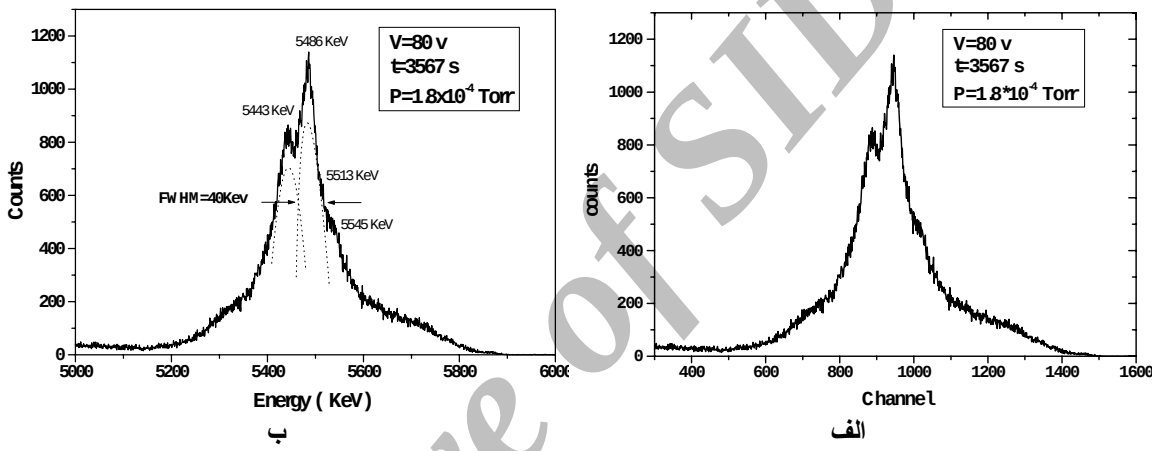
برای بررسی عملکرد آشکارسازها، قطعات تحت بایاس معکوس قرار داده شدند. سپس تحت شرایط خلأ 10^{-4} $Torr$ تحت تابش ذرات آلفا با انرژی ۵/۴۸ MeV از چشمه Am^{241} قرار گرفتند. در این حالت زوج الکترون- حفره‌هایی که بر اثر برخورد ذرات فرودی به ناحیه فعال(تهی لایه) ایجاد می‌شوند توسط میدان الکتریکی

۱.Liquid Encapsulated Czochralski

Archive of SID
www.SID.ir

موجود در این ناحیه جمع آوری شده و ایجاد یک پالس الکتریکی می‌نمایند که با دستگاه‌های الکترونیکی مناسب نشان داده می‌شوند[۹].

شکل۲الف طیف اندازه‌گیری شده با آشکارساز با قطر تماس فلزی mm ۳ و ضخامت μm ۴۰۰ را نشان می‌دهد. با کالیبره کردن آن، طیف انرژی مطابق شکل۲ب به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل۲ب مشاهده می‌شود، قدرت تفکیک‌پذیری انرژی آشکارساز مذکور keV ۴۰ است.از همین روی این آشکارساز می‌تواند دو ذره با اختلاف انرژی keV ۴۰ را از یک‌دیگر تشخیص دهد.



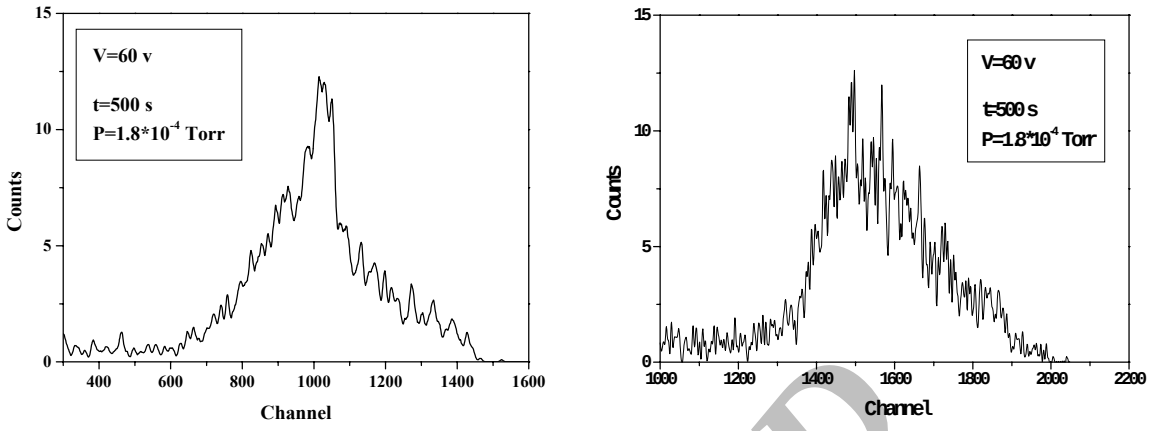
شکل۲. الف) طیف ذرات آلفای $5/48MeV$ **از چشمه** ^{241}Am **آشکارشده باآشکارساز** $GaAs$ **با تماس شاتکی دایره‌ای شکل به قطر** mm 3 **و ضخامت** μm 400**، ب) طیف انرژی ذرات آشکار شده شکل۲. الف**

شکل۳الف طیف اندازه‌گیری شده توسط آشکارساز $GaAs$ با قطر تماس $1mm$ وضخامت μm ۴۰۰ و شکل۳ ب طیف مربوط به آشکارساز با مشخصات مشابه و قطر تماس $2mm$ را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود وضوح قله دوم انرژی(که بیانگر قدرت تفکیک انرژی است) کم‌تر از شکل۲ب است؛ زیرا هرچه قطر تماس شاتکی(حجم ناحیه فعال) کاهش می‌یابد از قدرت تفکیک انرژی نیز کاسته می‌شود که علت آن کاهش تعداد حامل‌های تولید شده در نتیجه کاهش حجم ناحیه فعال است. اندازه $FWHM$ (تمام پهنا در نیم‌بیشینه) مشخص کننده قدرت تفکیک انرژی است و با رابطه زیر بیان می‌شود[۴]:

$$FWHM \propto \left(\frac{F}{N}\right)^{1/2} \qquad (۱)$$

که در آن N تعداد حامل‌های ایجاد شده بر اثر برخورد ذره فرودی و F ضریب فانو است. ضریب فانو بیان‌گر اثر افت و خیزهای آماری شمارش است. اگر شرایط به نحوی تغییر کند که تعداد حامل‌های ایجاد شده کاهش یابد $FWHM$ افزایش یافته و از قدرت تفکیک پذیری انرژی کاسته می‌شود.

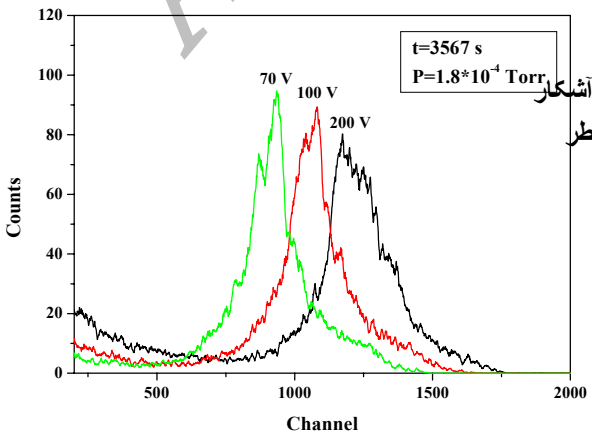
Archive of SID
www.SID.ir



شکل۳. طیف ذرات آلفای MeV ۵/۴۸ از چشمه Am^{241} آشکارشده با آشکارساز $GaAs$ با ضخامت μm ۴۰۰ و تماس شاتکی دایره‌ای شکل به قطر: الف) mm ۱، ب) mm ۲

طیف اندازه‌گیری شده ذارت آلفا با انرژی MeV ۵/۴۸ از چشمه Am^{241}، با آشکارساز $GaAs$ با قطر تماس فلزی mm ۳ و ضخامت μm ۴۰۰ در ولتاژهای مختلف در شکل۴ نشان داده شده است. دو پدیده در این شکل مشاهده می‌شود:

۱- جابه جایی قله طیف به‌سمت شماره کانال‌های بالاتر با افزایش ولتاژ، زیرا بر اثر برخورد تابش و ایجاد حامل‌های بار در آشکارساز، جریان عبوری از قطعه افزایش می‌یابد و دستگاه طیف‌سنج با توجه به میزان تپ جریان تولید شده بر اثر برخورد یک ذره، شماره کانال به‌خصوصی را به آن نسبت می‌دهد. هرچه اندازه تپ جریان تولید شده بیش‌تر باشد، شماره کانال بالاتری به آن ذره اختصاص داده می‌شود. با افزایش ولتاژ معکوس اعمالی به آشکارساز ناحیه تهی گسترش یافته و احتمال ایجاد حامل‌های بار بر اثر برخوردهای ثانویه حامل‌ها افزایش می‌یابد. بنا بر این بر اثر برخورد ذره‌ای با انرژی مشخص، تپ جریان بزرگ‌تری به وجود می‌آید. به این ترتیب با افزایش ولتاژ شاهد انتقال طیف به سمت کانال‌های بالاتر خواهیم بود[۷].



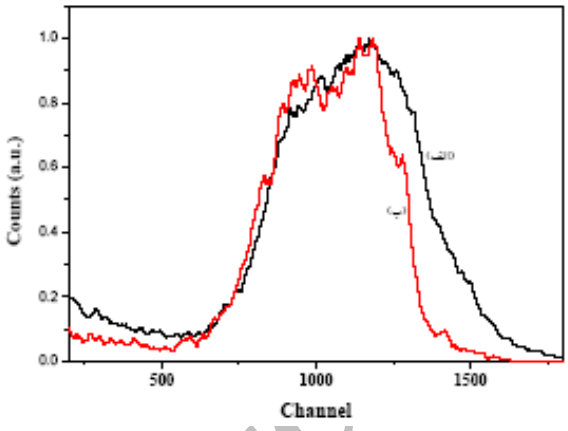
شکل۴. طیف ذرات آلفای MeV ۵/۴۸ از چشمه Am^{241} آشکار شده با آشکارساز $GaAs$ با تماس شاتکی دایره‌ای شکل به قطر mm ۳ و ضخامت μm ۴۰۰ در ولتاژهای مختلف

Archive of SID
www.SID.ir

۲. کاهش قدرت تفیک انرژی با افزایش ولتاژ آشکارساز، که بیانگر افزایش افت و خیزهای آماری داخل آشکارساز (ضریب فانو) با افزایش ولتاژ اعمالی است[۵]،[۶].

در آزمایش بعدی از آشکارساز $GaAs$ با اتصال شاتکی دایره‌ای شکل به قطر mm ۲ و ضخامت μm ۴۰۰ استفاده شد. با قرار دادن درپوش بر روی آشکارساز، دو حالتی را که همه مساحت آشکارساز (شکل۵ الف) و یا فقط ناحیه فعال آن تحت تابش قرار گیرد(شکل۵ ب)، با هم مقایسه کردیم. از آنجا که فرآیند نفوذ حامل‌هایی که خارج از ناحیه فعال ایجاد می شوند به داخل ناحیه فعال طبیعت آماری دارد، و این موضوع منجر به افزایش ضریب فانو می شود، انتظار می‌رود تفکیک‌پذیری آشکارساز در حالت دوم بهتر باشد[۸].

جریان عبوری از آشکارساز و به تبع آن سطح DC ولتاژ دو سر آن پس از تحت تابش قرار گرفتن آشکارساز افزایش می‌یابد. پس اگر نور تابیده شده به طور تناوبی قطع و وصل شود، نمودار $V-t$ آن به صورت موج مربعی ظاهر می‌شود و به کمک اسیلوسکوپ تغییرات ولتاژ قابل مشاهده خواهد بود.



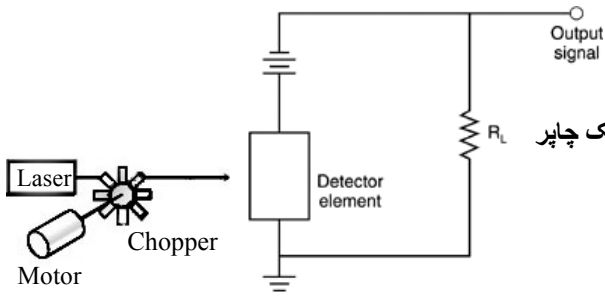
شکل۵. طیف آلفای اندازه‌گیری شده MeV ۵/۴۸ از چشمه Am^{241} آشکارشده با آشکارساز $GaAs$ با تماس شاتکی دایره‌ای شکل به قطر mm ۲ و ضخامت μm ۴۰۰ در ولتاژهای مختلف

حال اگر حامل‌های ایجاد شده بر اثر تابش نور، در فاصله زمانی دو تپ نوری جمع‌آوری نشوند و یا انرژی فوتون نوری به قدری زیاد باشد که تعداد حامل‌های خیلی زیادی به وجود آورد که امکان جمع‌آوری‌شان در فاصله دو تپ وجود نداشته باشد، اصطلاحاً می‌گویند آشکارساز اشباع شده است و توانایی تمیز دو پالس با این دوره تناوب را ندارد. مسلماً یکی از مزایای آشکارساز خوب سرعت پاسخگویی زیاد آن و یا به عبارت دیگر توانایی تشخیص پالس‌های نوری با دوره تناوب کم و فرکانس بالا است.

در ابتدا برای ایجاد پالس‌های نوری از روش مکانیکی استفاده کردیم. بدین‌ترتیب که با دوران صفحه دایره‌ای شکلی که در دور آن سوراخ‌های ریزی وجود دارد، در مقابل یک چشمه پیوسته نوری آن‌را به صورت پالسی تبدیل کردیم(شکل۶). اما از آنجا که حداکثر فرکانس حاصل از این روش حدود $1KHz$ است و انتظار ما از

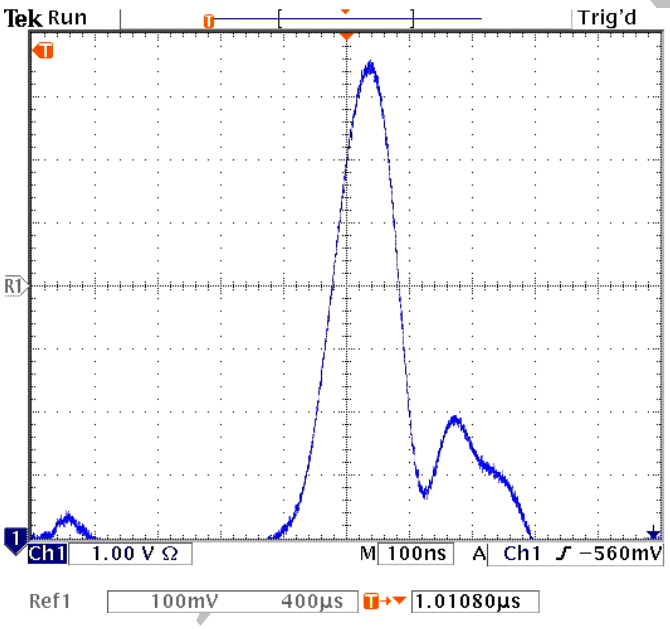
Archive of SID
www.SID.ir

آشکارساز پاسخگویی به پالس‌های در حد MHz است[۲]، روش مکانیکی را شیوه مناسبی برای ایجاد پالس نوری ندیدیم. برای این منظور از لیزر Q- سوییچ $Nd:YAG$ که پالس‌هایی با تناوب MHz ایجاد می‌کند استفاده کردیم.



شکل۶. آشکارسازی پالس‌های نوری ایجاد شده به کمک چاپر

همان‌طور که از شکل۷ پیداست، آشکارساز $GaAs$ به ضخامت $400\ \mu m$ و قطر تماس شاتکی $2\ mm$ پالس‌هایی با پهنای زمانی حدود $100\ ns$ را آشکار می‌کند.



شکل۷. تپ آشکارسازی شده با دوره $100\ ns$ با آشکارساز $GaAs$ به ضخامت $400\ \mu m$ و قطر تماس شاتکی $2\ mm$ در دمای اتاق

نتیجه‌گیری

در این مقاله عملکرد آشکارساز با زیرلایه نیمه عایق $GaAs$ و اتصال‌های شاتکی دایره‌ای شکل با قطر $1\ mm$, $2\ mm$ و $3\ mm$ بررسی شد. در آشکارسازی تابش آلفا با آشکارساز به ضخامت $400\ \mu m$ و قطر تماس شاتکی $2.3\ mm$ حاصل شد. با افزایش مساحت تماس شاتکی این مقدار کاهش پیدا

www.SID.ir

کرده و در نتیجه قدرت تفکیک انرژی آشکارساز افزایش می‌یابد، به نحوی که آشکارساز با قطر تماس شاتکی $1\ mm$ توانایی تفکیک انرژی‌های چشمه آلفا از یکدیگر را ندارد.

با افزایش ولتاژ اعمالی به آشکارساز مشاهده شد که طیف انرژی حاصله به‌سمت شماره کانال‌های بزرگ‌تر جابه جا شده و از قدرت تفکیک‌پذیری آشکارسازها کاسته می‌شود. همچنین مشاهده شد اگر به نحوی عمل شود که ذرات آلفا فقط به ناحیه فعال برخورد کنند قدرت تفکیک‌پذیری بیش‌تر می‌شود.

سپاس‌گزاری

در پایان از زحمات تمامی همکاران بخش نیم‌رسانای مرکز تحقیقات لیزر و واندوگراف مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران و صنعت آپتوالکترونیک صنایع نیمه هادی کمال تشکر را داریم؛ همچنین از راهنمایی‌های دوست عزیزم آقای فرزان گیتی و همکاری‌های سرکار خانم مریم جامعی مقدم در ارائه این مقاله سپاسگزاریم.

منابع

1.M. Cuzin, Some new developments in the Field of High Atomic Number Materials, *Nucl. Instr. And Meth.* A, 253 (1987) 407.

2.Markus Sickmöller, Ultra High Speed MSM Photodetectors for Optical Transmission Systems, *Annual Report*, Institut für Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig (1994).

3.G. Bertuccio, M. Alietti, C. Canali, A. Cetronio, C. Chiossi and F. Nava, Performance of SI LEC GaAs Detectors at 20°C and −30°C for X- and γ-ray Spectroscopy, *Nucl. Instr. And Meth*. A 379 (1996) 152-154.

4.W.R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics*, Springer-Verlag (1994) 118.

5. W. Van Roosbroeck, Theory of the Yield and Fano Factor of Electron-Hole Pairs Generated in Semiconductors by High-Energy Particles, *Phys. Rev*. 139, 1702-1716 (1965).

6.L. Reggiani, A. Reklaitis, et.all, Monte Carlo Investigation of Shot-noise Suppression in Nondegenerate Ballistic and Diffusive Transport Regimes, *Aust. J. Phys*. 53 (2000) 3-34.

7.R. Baldini, Influence of Substrate on the Performances of Semi-Insulating GaAs Detectors, *Nucl. Ins. Meth. Phy*. A 449 (2000) 268-276.

Archive of SID
www.SID.ir

8. Alan Owens, A. Peacock, Compound Semiconductor Radiation Detectors, *Nucl. Instr. And Meth.* A 531 (2004) 18-37.

9. *Alpha Ray Spectroscopy*, University of Michigan, May(2005).

10. P. Jayavel, Study on the performance of SI-GaAs and SI-InP Surface Barrier Detectors for Alpha and Gamma Detection, *Nucl. Ins. and Meth*. A 454 (2000) 252.

Archive of SID

www.SID.ir