اولین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران
The First Iranian Conference on Renewable Energies and Distributed Generation
ICREDG 2010

ساخت و بررسی ویژگی‌های فوتو کاتد CsI مورد استفاده در PMTها و پنل های خورشیدی

محمد مهدی فیروز آبادی، حسین تار قلی زاده و ناهید بهزادی پور

چکیده – در این تحقیق یک لایه از بلور Cs-I با ضخامت ۵۰۰ nm بر روی یک زیر لایه آلومینیومی که به صورت مقعر ساخته شده است، لایه نشانی شد. این لایه نشانی با استفاده از روش تبخیر بخار فیزیکی انجام گرفت. علاوه بر زیر لایه آلومینیومی یک لام شیشه ای نیز برای انجام آزمایش های جانبی از قبیل XRD لایه نشانی شد. در طیف XRD انجام شده قله موجود در زاویه $2\theta = 28^\circ$ می باشد که دارای بیشینه شدت می باشد. این قله بیان گر تک بلور بودن پوشش Cs-I است. به عبارت دیگر طی فرآیند لایه نشانی خواص فیزیکی و شیمیایی پوشش تغییر نیافته و فاز آمورف تشکیل نشده است. بنابراین می توان از پوشش ایجاد شده Cs-I روی بستر آلومینیومی به عنوان فوتوکاتد جهت تولید فوتو الکترون استفاده نمود. زیر لایه تا دمای ۶۰ درجه گرم شد. برای اندازه‌گیری آهنگ الکترون‌های ثانویه گسیل شده از فوتوکاتد آماده شده، مجموعه شامل، محفظه خلأ با فشار 10^{-6} mbar ،نانوآمپرمتر، توری، فوتودایودها و دیگر وسائل موردنیاز می‌باشد. جریان فوتوالکترون‌های بازتابی از روی فوتوکاتد Cs-I برای سه طیف مختلف نورهای قرمز، سبز و آبی مایل به بنفش که از چشمه‌های LED تولید شده، اندازه‌گیری شده‌است. مشاهده می‌شود که برای رنگ آبی مایل به بنفش در ۸۰۰ ولت، جریان فوتوکاتد به ۱۰۰ نانوآمپر می‌رسد. عدم قطعیت و خطاها از چشمه‌های مختلف کمتر از ۲۵ درصد نیست.

واژه‌های کلیدی **- زیر لایه، فوتوالکترون، فوتوکاتد، لایه نشانی.**

۱- مقدمه

فتوولتائیک سیستمی است که قادر به تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریسیته می‌باشد. سیستم تولید الکتریسیته فتوولتائیک اثرات جانبی بسیار ناچیزی بر طبیعت دارد و برخلاف سوخت‌های فسیلی که تجدید ناپذیر هستند و روزی به پایان می‌رسند، انرژی خورشیدی منبعی تجدید پذیر به‌شمار می‌آید که تا روزی که حیات در کره خاکی وجود دارد قابل استفاده و بهره برداری است. سلول های خورشیدی از نیمه رساناها تشکیل شده‌اند. این سلول‌ها در اندازه‌ها و اشکال گوناگون تولید می‌شوند. هر سلول خورشیدی تنها ۱ تا ۲ وات انرژی الکتریسیته تولید می‌کند. معمولاً این سلول‌های خورشیدی به هم متصل می‌شوند تا یک سیستم خورشیدی بزرگ را به‌وجود آورند. یک سلول خورشیدی علاوه بر تولید الکتریسیته، دارای یک باتری نیز می‌باشد که انرژی الکتریسیته بدست آمده را برای شب و یا روزهای ابری ذخیره می‌کند. می توان فوتوکاتد را به صورت یک سلول خورشیدی با توانایی پایین در نظر گرفت، به این صورت که یک دسته پرتو نورانی با شدت پایین به لایه فوتوکاتد که با استفاده از یک ماده نیمه رسانا از جمله Cs-I ساخته شده است، تابیده می شود و الکترون های آن را ساطع می کند، در زیر نحوه ساخت و عملکرد فوتوکاتد توضیح داده شده است.

فوتو کاتدها از جمله در ساختمان لامپ تکثیر کننده فوتونی (PMT) [1] استفاده می شوند. لامپ تکثیر کننده فوتونی یک سامانه خلأ است که از یک پنجره ورودی، یک فوتوکاتد، الکترود کانونی کننده، الکترود شتاب دهنده، تکثیر کننده الکترونی و آند تشکیل شده‌است. پس از ورود پرتو به داخل محیط سوسوزن (scintillator) نوری که وارد PMT می شود طی فرآیندهای زیر آشکار و تبدیل به یک جریان یا سیگنال قابل اندازه‌گیری می شود. ابتدا نور از پنجره ورودی عبور می کند و الکترون های فوتوکاتد را به نحوی بر می انگیزد که فوتو الکترون ها داخل خلأ گسیل می‌شوند. فوتو الکترون‌ها شتاب می‌گیرند و به وسیله الکترود کانونی کننده بر روی سطح اولین دایینود کانونی می شوند و سپس طی فرایند گسیل ثانوی، الکترون هائی تکثیر می کنند و گسیل ثانوی در مراحل بعدی دایینود نیز تکرار می شود. پس از ورود پرتو به داخل محیط سوسوزن و ایجاد سوسوزنی، نور از سوسوزن عبور کرده و به پنجره ورودی PMT می‌رسد و پس از عبور نور از پنجره ورودی، با استفاده از اثر فوتوالکتریک نور به جریان الکتریکی تبدیل می‌شود. برای این کار بایستی از ماده‌ای استفاده شود که با طول موج نور حاصل از سوسوزن فوتوالکترون‌ها را گسیل نماید و برای این کار از فوتوکاتد استفاده می شود. فوتوکاتدها معمولا از یک نیمه رسانای لایه نشانی شده ساخته شده اند و دو نوع اصلی برای آن ها وجود دارد. [۴]

فوتوکاتدهای نیمه شفاف: بیشتر این فوتوکاتدها روی قسمت داخلی شیشه ورودی لایه نشانی می شوند، در این فوتوکاتد ابتدا نور از میان زمینه شفاف و بعد از داخل لایه فوتوکاتد می گذرد و

[1] Photomultiplier

فوتوالکترون ها از سطح مقابلی که تابش فرود آمده، گسیل می‌شوند. اندازه این فوتوکاتد می تواند بزرگ باشد (با قطر ده ها تا چند صد میلی متر) و شیشه ای که این فوتوکاتد روی آن لایه نشانی می شود می تواند مسطح یا انحنا دار باشد.

فوتو کاتدهای انعکاسی: این نوع از فوتو کاتدها بر روی یک الکترود فلزی داخل لامپ لایه نشانی می شوند و فوتو الکترون ها را از همان سطحی که نور روی آن تابیده می شود،گسیل می‌کنند. مساحت این فوتوکاتدها وابسته به اندازه الکترودهای کانونی معمولا چند سانتی متر مربع است. [۶]

۲- لایه نشانی

۲-۱ تهیه مواد برای لایه نشانی فوتوکاتد

برای ساخت فوتو کاتد لازم است تا بلور Cs-I را بر روی یک زیر لایه مناسب لایه نشانی نمود. بلور Cs-I با خلوص بیش از ۹۹ ٪ به شکل پودر با دانه بندی حدود $50\ \mu m$، به میزان ۲۰۰ gr از شرکت Merck آلمان تهیه گردید.. برای جلوگیری از تصعید ناگهانی پودر Cs-I هنگام لایه نشانی به روش تبخیر فیزیکی[۲] (PVD)، آن را در کوره القایی تحت خلأ در دمای حدود $500\ ^{\circ}C$ در بوته پلاتینی ذوب نموده و به بلور Cs-I تبدیل می کنند. به علت عدم واکنش شیمیایی آلومینیوم با بلور Cs-I، بیشینه کردن میزان فوتو الکترون های تولید شده از فوتو کاتد و جلوگیری از پراکندگی الکترون ها، زیر لایه معمولاً از جنس آلومینیوم انتخاب می شود. همچنین دلایل دیگری از قبیل، قیمت ارزان آلومینیوم، در دسترس بودن آن، انعطاف پذیری برای ساخت شکل مورد نظر و امکان لایه نشانی بر روی آن باعث می شود تا آلومینیوم به عنوان بهترین گزینه برای زیر لایه انتخاب شود. برای جلوگیری از واگرایی الکترون ها و پراکنده شدن آن ها سطح زیر لایه به صورت مقعر با قطر ۶ cm در نظر گرفته می شود. [۱]

۲-۲ روش و شرایط لایه نشانی

لایه نشانی انجام شده در این مورد به روش تبخیر گرمایی می باشد. [۴] فرآیند تبخیر گرمایی مشتمل بر یک چشمه از ماده مورد نظر است که در اتاقکی با فشار کمتر از 10^{-6} mbar روی یک گرمکن قرار دارد، گرمکن سبب تبخیر ماده چشمه شده و ذرات بخار حاصل از آن روی زیر لایه قرار می گیرند. شرایطی که لایه نشانی در آن انجام شد به صورت زیر است:

فشار محفظه خلأ قبل از تبخیر $1/5\times10^{-5}$ mbar و در هنگام لایه نشانی 5×10^{-5} mbar می باشد. دما در طول فرآیند لایه نشانی بین ۷۰-۶۰ درجه تغییر می‌کند. آهنگ لایه نشانی در ۵nm اول حدود ۰/۲ $\AA$/S و در طول لایه نشانی حداکثر ۲/۵ $\AA$/S می باشد. اما متوسط مقدار آن در حین انجام آزمایش ۱/۷-۱/۸ $\AA$/S می‌باشد. جریان در طول فرآیند لایه نشانی ۶۴ count/sec می‌باشد. ضخامت نهایی Cs-I لایه نشانی شده بر روی زیرلایه آلومینیومی ۵۵۰nm می‌باشد. در شکل ۱، تصویر زیرلایه، لایه نشانی شده نشان داده شده است.

۳- طیف XRD از نمونه فوتو کاتد Cs-I

طیف XRD برای تعیین فاز های تشکیل شده در ترکیب یا آلیاژ مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به طیف XRD مشاهده شده در شکل ۳ قله موجود در زاویه $2\theta = 28^{\circ}$ که دارای بیشینه شدت می باشد. این قله بیان گر تک بلور بودن پوشش Cs-I است. به عبارت دیگر طی فرآیند لایه نشانی خواص فیزیکی و شیمیایی پوشش تغییر نیافته و فاز آمورف تشکیل نشده است. بنابراین می توان از پوشش ایجاد شده Cs-I روی بستر آلومینیومی به عنوان فوتو کاتد جهت تولید فوتو الکترون استفاده نمود. از آنجایی که پوشش تشکیل شده روی بستر آلومینیومی دارای شبکه بندی منظمی (تک بلور) می باشد، می توان اندازه متوسط بلور را محاسبه و بر اساس آن احتمال گسیل الکترون ها را بر آورد نمود. اندازه متوسط بلور از رابطه (۱) به دست می آید:

$$\tau = 0.9\lambda / \beta Cos\theta \quad \lambda = 2d\sin\theta \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) τ اندازه متوسط کریستال یا ذرات نمونه ای که تحت آزمایش طیف نگاری قرار گرفته می شود، θ زاویه براگ بر حسب درجه، d فاصله صفحات کریستالی که در آن ها تفرق صورت گرفته است، λ طول موج اشعه تابشی در دستگاه XRD که معمولا $1/54\ ^{\circ}A$ است و β پهنای نصف قله بیشینه (FWHM) بر حسب رادیان (در داده های ارائه شده توسط دستگاه بر حسب درجه ثبت می شود) که می باید بر حسب درجه تبدیل گردد. مقادیر با استفاده از داده های جدول بالا و رابطه (۱-۱) اندازه متوسط کریستال Cs-I به صورت زیر به دست می آید:

$$\lambda = 2\times3.2285\times Sin(27.6074/2) = 1.54\,A^{\circ} \qquad (۲)$$

$$\tau = (0.9\times1.54)\Big/(8.56\times10^{-3}\times\cos(\tfrac{27.6074}{2})) = 167A^{\circ} \qquad (۳)$$

با توجه به این که ضخامت پوشش ایجاد شده روی بستر آلومینیوم حدود ۵۰۰ nm می باشد، بنابراین حدود شش لایه از کریستال Cs-I در پوشش وجود دارد. قله های مشاهده شده در شکل بالا مربوط به صفحات مختلف کریستال می باشد که در زوایای

۲- Physical Vaccum Deposition

مختلف (2θ) طیف نگاری شده است. بیشترین شدت طیف در زاویه $2\theta = 27.6074$ قرار گرفته و محاسبات ابعاد کریستال نیز بر اساس مشخصات قله فوق انجام شده است.[۳]

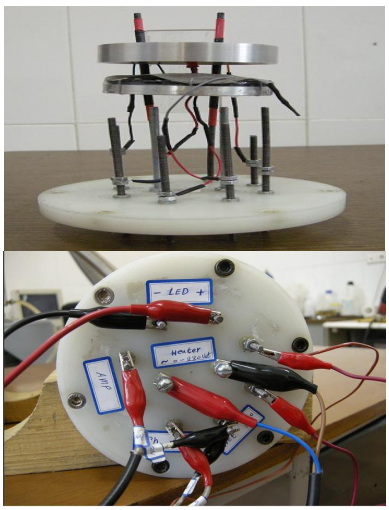
جدول (۱) مشخصات طیف XRD نمونه Cs-I ارائه شده توسط دستگاه پارامتر های رابطه (۱) در جدول (۱) موجود است.

No	Fit(A1) d	(2θ) Angle	Limit $_{Low}$	Limit $_{upp}$	I $_{net}$	I_{Rel}	I_{Bgr}	FWHM
۱	۳/۲۲۸۵	۲۷/۶۰۷۴	۲۷/۴۵۰۰	۲۷/۸۰۰۰	۹۶۳/۹۹	۱۰۰	۰/۰۰	۰/۱۰۳۶
۲	۱/۸۶۴۳	۴۸/۸۰۹۶	۴۸/۶۵۰۰	۴۹/۰۰۰	۱۲۸/۱۳	۱۳	۰/۰۰	۰/۲۳۳۴
۳	۱/۶۱۳۲	۵۷/۰۴۴۵	۵۶/۶۰۰۰	۵۷/۵۰۰۰	۲۰/۰۰	۲	۰/۰۰	۰/۴۵۰۰
۴	۱/۲۲۰۲	۷۸/۲۸۸۸	۷۸/۱۰۰۰	۷۸/۶۰۰۰	۱۵/۰۰	۲	۰/۰۰	۰/۲۴۶۳

۴- آماده سازی فوتوکاتد برای قرار گرفتن در محیط آزمایش

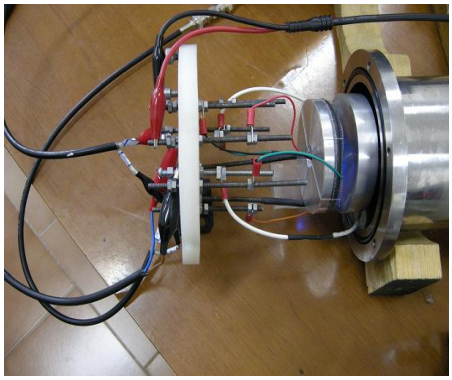
علاوه بر زیرلایه آلومینیومی مقعر شکل، که بلور Cs-I بر روی آن لایه‌نشانی شده است (شکل ۱)، از یک صفحه آلومینیومی دیگر که نقش آند را داشته و برای جمع آوری فوتوالکترون‌های تولید شده از فوتوکاتد، می‌باشد استفاده می‌شود. آند به شکل دیسکی و به قطر ۶ cm بوده و ما بین آن شکافی به قطر ۱cm وجود دارد. این شکاف برای قرار گرفتن LED در وضعیتی که به طور یکنواخت سطح کاتد را روشن کند، ایجاد شده است. از آن‌جایی‌که تجهیزات مربوط به اندازه‌گیری بار الکتریکی بسیار حساس و گران قیمت می‌باشند و کوچک‌ترین شوک الکتریکی ممکن است باعث آسیب آن‌ها گردد، لذا این تجهیزات برای حفاظت بیشتر به طور غیر مستقیم به روشی که در زیر به آن پرداخته می‌شود، مورد استفاده قرار گرفتند.

جهت استخراج فوتوالکترون‌های تولید شده در فوتوکاتد و اندازه‌گیری شدت جریان فوتوالکترون‌ها، از توری فلزی بین فوتوکاتد و آند استفاده شده است. برای جلوگیری از اتصال کوتاه توری و آند، عایق‌های مناسب بین آن‌ها به کار رفته است. اختلاف پتانسیلی که توسط منبع تغذیه ولتاژ بالا بین فوتوکاتد و توری بر قرار می‌گردد، باعث استخراج و جذب فوتوالکترون‌ها به سمت توری می‌گردد. با توجه به این‌که توری مشبک می‌باشد، فوتوالکترون‌ها با شتاب از توری عبور کرده و با آند بر خورد می‌کنند. هنگامی که فوتوالکترون‌ها با آند برخورد نمودند، جذب آن شده و بار الکتریکی آند افزایش می‌یابد. مقدار بار جمع شده روی آند توسط شمارنده بار الکتریکی، شمارش می‌شود. با اعمال ضریب تناسب، بار الکتریکی به جریان الکتریکی تبدیل می‌گردد. و به هر کدام از این اجزاء یعنی فوتوکاتد، توری و آند یک سیم رابط برای اتصال به پایه‌های نگه دارنده، وصل می‌شود. بعد از مطمئن شدن از محکم بودن اتصالات و عدم ارتباط الکتریکی آن‌ها با یکدیگر کل مجموعه بر روی سطح عایق نصب می‌شود. این سطح عایق از جنس پلکسی گلاس بوده و بر روی آن دو جایگاه برای قرار دادن فوتوکاتد و آند ایجاد شده است. همچنین برای برقراری ارتباط الکتریکی فوتوکاتد و عناصر جانبی آن با تجهیزات الکترونیکی، فوتوکاتد بر روی سطح عایقی از جنس تفلون قرار می‌گیرد. پیچ‌های فلزی با ارتفاع معین روی این سطح عایق نصب شده است که پیچ‌ها از یک طرف به اجزائ فوتوکاتد قابل اتصال می‌باشند و ادامه آن‌ها در سوی دیگر عایق به تجهیزات الکترونیکی وصل می‌شود. (شکل ۲)

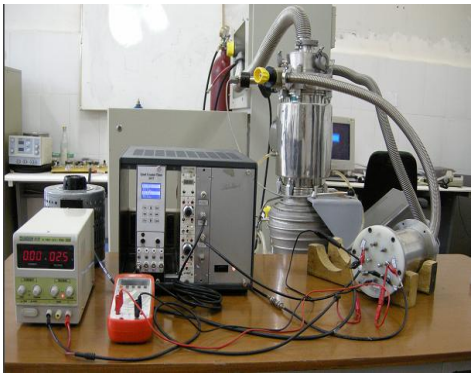


شکل ۲- فوتوکاتد و اجزاء آن که برای اتصال به اجزاء الکترونیکی بر روی عایق تفلونی نصب شده است.

پس از چیدن فوتوکاتد به صورتی که در بالا توضیح داده شد، کل مجموعه فوق برای رسیدن به فشار پایین ۵×۱۰^{-۶} mbar در محفظه خلأ قرار داده می‌شود و سپس برای اندازه‌گیری فوتوالکترون‌ها به سیستم خلأ متصل می‌گردد. (شکل ۳)



شکل ۳-الف فوتوکاتد که داخل محفظه خلأ قرار داده می شود



شکل ۳- ب محیط آزمایش برای اندازه گیری فوتو الکترون ها

۵- اندازه گیری فوتوالکترون ها

پس از نصب فوتوکاتد و متعلقات آن روی پایه نگه دارنده و برقراری اتصالات الکتریکی اجزای فوتوکاتد، مجموعه در محفظه خلأ طبق آن چه که بیان شد قرار داده می‌شود. با حصول اطمینان از صحت اتصالات الکتریکی، محفظه خلأ حاوی مجموعه فوتوکاتد، تحت خلأ $۵/۱ \times ۱۰^{-۶}$ mbar قرار می‌گیرد. با تثبیت نسبی خلأ، دمای فوتوکاتد توسط لامپ هالوژن که با ترموکوپل کنترل می‌شود، به حدود ۶۰ درجه افزایش داده شد.[۵] هنگامی که فوتوکاتد به دمای مورد نظر رسید لامپ هالوژن خاموش گردید. از آن جایی که محیط فوتوکاتد خلأ بوده و پایه نگه دارنده آن نیز عایق می‌باشد، دمای فوتوکاتد، افت چشمگیری در طی آزمایش نخواهد داشت. پس از خاموش شدن لامپ هالوژن، مقدار بار الکتریکی مفید که ممکن است از نویز دستگاه‌ها و یا یون‌ها و فوتون‌ها باقی‌مانده در محیط فوتوکاتد ایجاد شوند، اندازه‌گیری گردید. برای تولید فوتوالکترون و بررسی حساسیت و بازدهی فوتوکاتد Cs-I در برابر نورهای مختلف، از سه لامپ LED به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی مایل به بنفش به صورتی که در مطالب بعدی توضیح داده می‌شود، استفاده شد.

۴-۱ لامپ LED به رنگ قرمز با طول موج ۶۵۰NM تا ۷۵۰NM

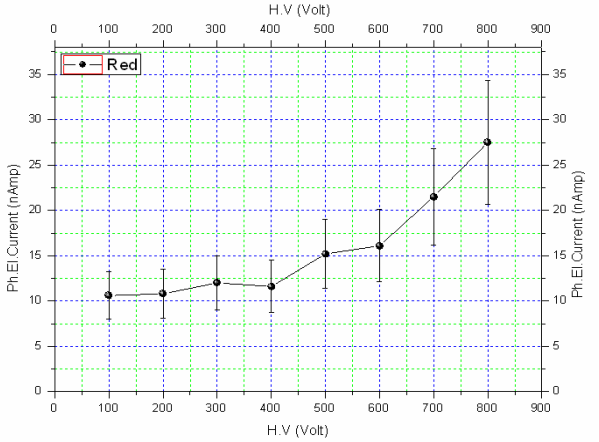
با تنظیم ولتاژ لامپ LED به رنگ قرمز روی ۱/۳ Volt، فوتون‌های گسیل شده با طول موج ۶۵۰nm تا ۷۵۰ nm به فوتوکاتد برخورد کرده و فوتوالکترون‌ها تولید می‌شوند. فوتوالکترون‌های تولید شده به صورت ابر الکترونی روی فوتوکاتد تجمع کرده و در اثر اختلاف پتانسیل بین فوتوکاتد و آند به سمت آند حرکت نموده، پس از برخورد با آند روی آن ایجاد بار اضافی می‌کنند. بار اضافی تولید شده در روی آند، توسط تقویت کننده به پالس‌های الکتریکی تبدیل شده و پالس‌های فوق با دستگاه شمارنده، شمارش می‌شوند. برای دست یابی به شمارش قابل قبول و محدودیت در زمان انجام آزمایش با توجه به محدوده تثبیت دمای فوتوکاتد، زمان شمارش ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شد. بنابراین شمارش بارهای الکتریکی جمع شده روی آند به ازای ۱۰ ثانیه انجام شده است. پس از محاسبه شمارش به ازای هر۱۰ ثانیه و کسر شمارش زمینه (۱۶۵۰ Count/Sec) نتایج درج می‌گردد. برای تبدیل مقدار شمارش فوتوالکترون‌ها به جریان فوتوالکترونی بر حسب نانوآمپر (nA)، می‌بایست شمارش انجام شده در ضریب ۰/۰۰۲۷ ضرب شود. ضریب ۰/۰۰۲۷ توسط سازنده دستگاه تقویت کننده بار الکتریکی، ارائه شده است. در اندازه‌گیری‌های انجام شده سه دسته عدم قطعیت وجود دارد که می‌باید در نتایج به دست آمده اعمال شود. این سه دسته عدم قطعیت به قرار زیر می‌باشد:

۱- با توجه به آنچه که برای توجیه استفاده از توری فلزی برای محافظت از آند اشاره شد، مساحت تقریبی توری حدود ۱۰ درصد مساحت کل سطح آند است. بنابراین ممکن است وقتی الکترون‌ها به سمت آند حرکت می‌کنند، حدود ۱۰ درصد از فوتوالکترون‌ها جذب توری شده و به این صورت بارهای الکتریکی رسیده به آند با عدم قطعیت ۱۰ درصد مواجه هستند.

۲- دستگاه‌های الکترونیکی دارای عدم قطعیت مشخص می‌باشند که از طرف سازندگان آن‌ها ارائه شده است، در این تحقیق عدم قطعیت ارائه شده برای تجهیزات الکترونیکی استفاده شده در اندازه‌گیری فوتوالکترون‌ها در مجموع ۱۰ درصد اعلام شده است.

۳- با توجه به اپتیک الکترونی، احتمال پراکندگی فوتوالکترن‌ها قبل از جذب شدن توسط آند وجود دارد، عدم قطعیت مربوط به

پراکندگی فوتوالکترون‌ها حدود ۵ درصد برآورد شده است. در مجموع عدم قطعیت مربوط به اندازه‌گیری فوتوالکترون‌ها حدود ۲۵ در صد می‌باشد. بنابراین اعداد به دست آمده در اندازه‌گیری‌ها در صورت اعمال عدم قطعیت ۲۵ درصد معنی دار می‌گردد.

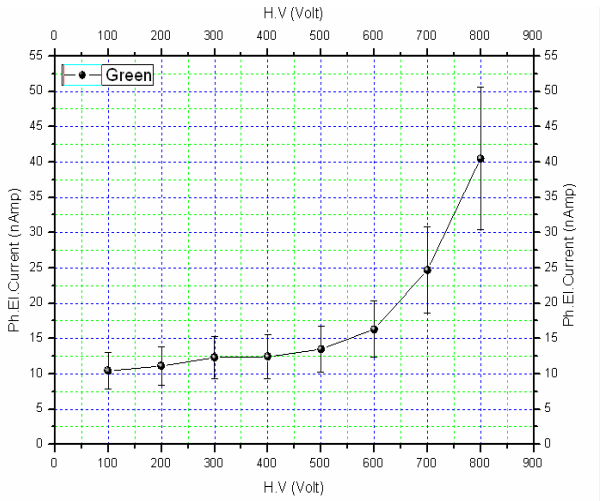


شکل۴- نمودار جریان فوتوالکترون با احتساب عدم قطعیت ۲۵ درصد برای لامپ LED قرمز

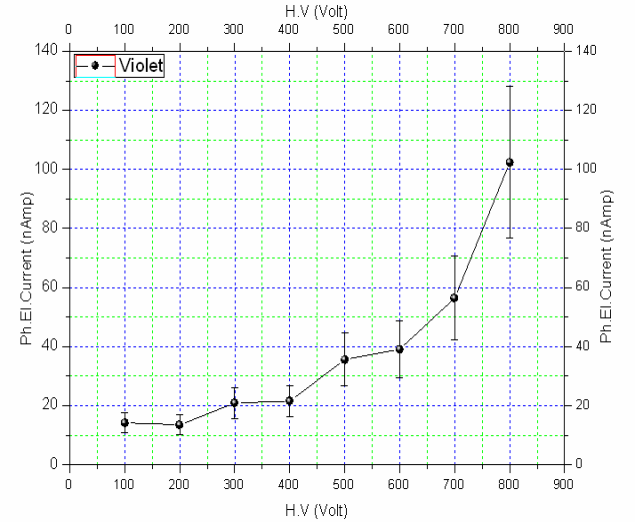
در شکل (۴) جریان فوتوالکترون بر حسب اختلاف پتانسیل با احتساب عدم قطعیت ۲۵ درصد نشان داده شده است.

۴-۲ لامپ LED به رنگ سبز با طول موج NM ۵۳۰ تا NM ۵۷۰ و رنگ آبی مایل به بنفش با طول موج NM ۳۹۰ تا NM ۴۳۰

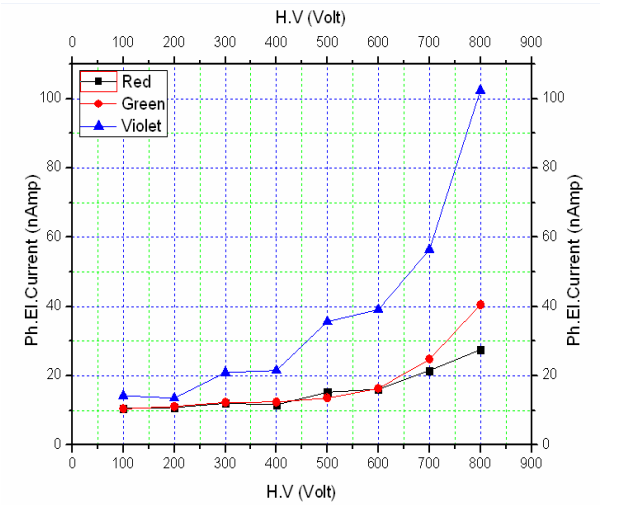
برای مقایسه نتایج با یکدیگر، تمام آزمایش‌ها در شرایط یکسانی انجام شده است. در این آزمایش نیز پس از نصب لامپ LED به رنگ سبز و آبی مایل به بنفش در فاصله معین از فوتوکاتد و ایجاد خلأ و اعمال حرارت به فوتوکاتد طبق آن چه که پیشتر ارائه شد، آزمایش در اختلاف پتانسیل‌های مختلف انجام و نتایج در شکل‌های (۵ و ۶) نشان داده شده‌است. مقایسه اثر طول موج نورهای مختلف روی بازدهی فوتوکاتد در شکل (۷) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد پاسخ فوتوکاتد Cs-I در برابر فوتون‌های مرئی گسیل شده از LED به رنگ آبی مایل به بنفش دارای بازدهی بیشتری می‌باشد. بنابراین بهتر است برای استفاده از فوتوکاتد Cs-I از طول موج‌های نور مرئی که به سمت مادون بنفش می‌باشند استفاده شود.



شکل ۵- نمودار جریان فوتوالکترون با احتساب عدم قطعیت ۲۵ درصد برای لامپ LED سبز



شکل ۶- نمودار جریان فوتوالکترون با احتساب عدم قطعیت ۲۵ درصد برای لامپ LED آبی مایل به بنفش



شکل ۷- نمودار جریان فوتوالکترونی برای لامپ‌های LED به رنگ قرمز، سبز و آبی مایل به بنفش

۵- نتیجه گیری

۱. با افزایش ولتاژ، عمق چاه پتانسیل کم تر شده و امکان فرار الکترون‌ها بیشتر خواهد شد.

۲. با افزایش دمای فوتوکاتد بازدهی آن افزایش می یابد و مناسب‌ترین دما که در آن هم فوتو الکترون‌های تولید شده بیشتر شوند و هم فوتوکاتد آسیب نبیند ۶۰ درجه می‌باشد.

۳. میزان فوتوالکترون تولید شده در نور آبی مایل به بنفش که طول موج کمتری نسبت به نور قرمز و سبز دارد بیشتر می باشد. زیرا لایه Cs-I هنگام بایاس شدن به نورهای بنفش و آبی حساسیت بیشتری دارد. PMT هایی که دارای فوتوکاتدی از جنس Cs-I می‌باشند برای نورهای مادون بنفش طراحی می‌شوند.

٦- مراجع

[1] A. Braem, C. Joram, F. Piuz, E. Schyns and J. Séguinot, "Technology of photocathode production", Nucl. Instr. And Meth. A502 (2003), 205.

[2] ALICE Collaboration 1998 Technical Design Report of the High-Particle Identification Detector CERN/LHCC/1998–19. Momentum

[3] H Hodlmoser, "Development of Large Area CsI Photocathodes for the ALICE/HMPID RICH Detector," CERN-THESIS-2006-004, jun 2005.

[4] H. Spieler, "Introduction to Radiation Detectors and Electronics", Jan1999.

[5] J. Friese et al., NIM-A 438 (1999) 86.

[6] S. E[isenhardt, "Photomultipliers: Eyes for your Experiment ", University of Edinburgh, 2003.