مقاله پژوهشی

پژوهش در آموزش شیمی، سال دوم، شماره سوم، صفحات ۱۹-۳۶

پژوهش در آموزش شیمی

http://chemedu.cfu.ac.ir

طراحی محتوای آموزشی خودخوان در مبحث آشکارسازهای تکثیر کننده الکترونی برای دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی

علیرضا کرمی گزافی[۱*]، فرشته سادات سیاحی [۲]

[۱و۲]گروه شیمی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

آشکارسازهای تکثیرکننده الکترون تعداد یا شدت الکترون‌ها و ذرات باردار مثبت و منفی و حتّی فوتون‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند و در دستگاه‌های طیف‌سنجی پرتو ایکس، طیف‌سنج‌های جرمی، طیف‌سنجی اوژه و فوتوالکترون به‌عنوان آشکارساز استفاده می‌شود. پژوهش حاضر به طراحی و تولید محتوای آموزشی خودخوان برای مبحث آشکارسازهای تکثیرکننده الکترونی با دیدگاه خودآموز می‌پردازد. روش پژوهش مطالعه کتابخانه‌ای و ابزار آن فیش‌های کاغذی بوده است. ابتدا هدف کلی آموزشی به چندین هدف کوچکتر جزیی تقسیم شد و برای اهداف آموزش جزیی، اهداف رفتاری تدوین شد و برای این اهداف رفتاری، محتوای مناسب از طریق ترجمه متون علمی، تفسیر و تحلیل آن‌ها جمع‌آوری شد و با مقایسه و تحلیل فیش‌های مختلف برای هر هدف رفتاری محتوای نهایی تدوین شد. به‌طور کلی می‌توان گفت آشکارسازهای الکترونی در دسته‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرند. آنها برحسب تعداد کانال به دو دسته یک کاناله و چندکاناله و از نظر نوع دینود به دو دسته‌ی دینود مجزا و پیوسته تقسیم می‌شوند. شکل هندسی، طراحی و ساختار آشکارساز یکی از عوامل مؤثّر بر بهره آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش اجزای اصلی، شرح کار هر قسمت، نحوه عملکرد، خطاها و عوامل مؤثّر بر بازده این آشکارسازها بررسی و تحلیل شده است.

کلیدواژه‌ها: محتوای خودآموز، آشکارساز، طیف سنجی پرتو ایکس، دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد.

* نویسنده مسئول: (✉ arkaramigazafi@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۹

مقدّمه

مواد خودآموز برمبنای نظریه‌های یادگیری، به صورت یک رویکرد ترکیبی از نظریه‌های رفتارگرایی، شناختی و ساختارگرایی طراحی می‌شوند. نظریه‌های یادگیری مجموعه‌ای متشکل از اصولی است که توضیح می‌دهد افراد چگونه دانش را کسب کرده و چگونه به خاطر می‌آورند یا یادگیری چگونه رخ می‌دهد (نیوبی و همکاران، ۲۰۰۰، ص. ۱۰۶).

انواع نظریه‌های یادگیری: محقّقان روانشناسی تربیتی، یادگیری را از دیدگاه‌های گوناگون مورد بررسی قرار داده‌اند و یافته‌های آنها در تبیین پدیده یادگیری به ارائه نظریه‌های مختلفی منجر شده است با توجه به تنوع این نظریه‌ها، صاحب‌نظران آنها را با توجّه به اشتراک نظرشان در طبقه‌بندی‌های متعدّد جای داده‌اند. نظریه‌های یادگیری رفتارگرایی، شناخت‌گرایی و سازنده‌گرایی از آن جمله‌اند (سبحانی نژاد، ۲۰۰۵، ص ۱).

الف: نظریه‌ی یادگیری رفتارگرایی: این نظریه روان شناختی که از سوی نظریه پردازانی چون جان واتسون، بی اف اسکینر و دیگران حمایت می‌شد، دیدگاهی مکانیکی و ماشینی نسبت به آموزش انسان داشته و ذهن انسان را لوحه‌ای سفید می‌دانست که فطرت نقشی در آن ندارد و زندگی اجتماعی خطوطی را بر آن لوحه نقش می‌زند که شخصیت و روش و منش انسانی را تعیین می‌کند. رفتارهای جدید یا تغییر در رفتارها از طریق ارتباط بین محرک‌ها و پاسخ‌ها حاصل می‌شود. به عبارتی رفتارها از طریق شرطی شدن آموخته می‌شوند و شرطی شدن از طریق تعامل با محیط رخ می‌دهد. براساس این ایده رفتار را می‌توان به صورت روشمند و قابل مشاهده و بدون درنظر گرفتن هرگونه حالت درونی مطالعه کرد (کایا و آکدمیر، ۲۰۱۶، ص. ۳).

ب: نظریه‌ی یادگیری شناخت گرایی: این نظریه مبتنی بر این عقیده است که انسان اطّلاعاتی را که دریافت کرده پردازش می‌نماید نه اینکه فقط به محرک‌ها پاسخ دهد (یعنی درباره آنچه اتّفاق می‌افتد، می‌اندیشد) ذهن یادگیرنده مانند آینه‌ای است که دانش و مهارت جدید از آن منعکس می‌شود. یک نظریه توسعه شناختی به نام پردازش اطّلاعات معتقد است که حافظه و توجه، پایه و اساس شناخت است. ابتدا یادگیرنده اطّلاعات را دریافت می‌کند سپس آنها را درک و پردازش می کند تا با آنچه قبلا فرا گرفته و در حافظه ذخیره کرده است پیوند برقرار کند این نقش فعّال یادگیرنده در درک و سازماندهی اطّلاعات جدید با قدیم همان پردازش و یادگیری است. یادگیری مستلزم سازماندهی مجدد تجربیات یا با دستیابی به بینش‌های جدید و یا تغییر در الگوهای قدیمی است. بنابراین یادگیری تغییر در دانشی است که در حافظه ذخیره می‌شود نه فقط تغییر در رفتار (کایا و آکدمیر، ۲۰۱۶، ص. ۳).

ج: نظریه‌ی یادگیری سازنده گرایی: ساختارگرایی مبتنی بر این فرض است که همه ما براساس تجربیات فردی و دانش داخلی، چشم‌انداز خود از جهان را می‌سازیم. برمبنای این نظریه یادگیری مبتنی بر چگونگی تفسیر خود و ایجاد معنی و مفهوم از تجربیات خود است. لذا دانش نه از طریق تقلید و تکرار، بلکه توسط یادگیرنده ساخته می‌شود و از آنجا که هرکس مجموعه متفاوتی از تجربیّات و ادراکات دارد یادگیری برای هر فرد متفاوت و منحصر به فرد است. سازنده‌گرایی کمتر به موضوع متن و بیشتر به چگونگی تأثیر گذاشتن متن می‌پردازد و برای اینکه به مکانیسم‌های متن بهتر و واضح‌تر پی ببرد عمدا از اهمّیّت محتوای متن می‌کاهد. به عبارت دیگر سازنده‌گرایی بیشتر به این نکته می‌پردازد که متن چگونه معنا می‌دهد نه اینکه متن چه معنایی دارد. سازنده گرایان می‌کوشند فعّالیّت انسان را به شیوه‌ای علمی از طریق کشف عناصر اساسی آن فعّالیّت (مثل مفاهیم، کنش‌ها و مجموعه واژگان) و قواعد یا قوانین ترکیب آنها توضیح دهند (کایا و آکدمیر، ۲۰۱۶، ص. ۳). ویژگی-های اساسی نظریه‌های رفتارگرایی، شناخت‌گرایی و سازنده‌گرایی در جدول ۱ توصیف شده‌اند.

جدول ۱- ویژگی‌های اساسی نظریه‌های رفتارگرایی، شناخت‌گرایی و سازنده‌گرایی

نظریه‌های یادگیری	رفتارگرایی	شناخت گرایی	سازنده گرایی
نظریه پردازان اصلی	اسکینر، واتسون	آزوبل، برونر	پیاژه، ویگوتسکی
نحوه کسب دانش	انتقال دانش بیرونی به فراگیر	انتقال دانش بیرونی به فراگیر	ساخت دانش توسط فراگیر
راهبرد آموزشی	تمرین و تکرار	ساخت معانی و مفاهیم	حل مساله
نقش فراگیر	گیرنده غیرفعال اطّلاعات	پردازش کننده اطّلاعات	انتخاب اطّلاعات
دلالت‌های طراحی محتوا	جمع بندی و بیان اهداف آموزشی	استفاده از پیش سازمان-دهنده و تصاویر	طراحی موقعیت‌های مساله‌دار

ویژگی های موادّ آموزشی خودآموز: مطالب خودآموزی وظایف یک معلم را (شامل راهنمایی، ایجاد انگیزه، توضیح، بحث و گفتگو، طرح سؤال، و بررسی میزان پیشرفت) ارائه و به فراگیران مشاوره می‌دهد. مواد خودآموز بر گفتگوهای آموزشی با فراگیر تأکید می‌کند. هنگام خواندن واحدهای درسی، فراگیران با یک معلم نامرئی تعامل دارند به‌گونه‌ای که احساس کنند تدریس از طرف او صورت می‌گیرد. این مطالب همچنین سؤالاتی را برای خودآزمایی ایجاد می‌کند و بدین ترتیب کنجکاوی فراگیر را افزایش می‌دهد. بنابراین هر محتوای خودآموز باید دارای پنج ویژگی ساده و بدیهی و بی

نیاز از توضیح، جامع و دارای همه مطالب مورد نیاز، خودراهبر، خودانگیزاننده و خودارزیاب باشد (دی و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۱۰).

ساده و بدیهی و بی نیاز از توضیح: مطالب خودآموز به گونه‌ای نوشته می‌شوند که فراگیران برای درک محتوا نیازی به توضیحات اضافی ندارند. به این معنا که مطالب به زبان ساده و در بخش یا واحدهای کوچک به تفصیل و با اجتناب از بیان مطالب حشو و ارائه جزئیات ضروری نوشته می‌شود تا واحد یادگیری مورد نظر بتواند اطّلاعات مورد نیاز فراگیران را پوشش دهد (دی و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۱۰).

جامع و دارای همه مطالب مورد نیاز: مطالب خودآموز باید به گونه‌ای تهیّه شوند که فراگیران برای یادگیری مفاهیم یا موضوع مورد نظر خود، نیاز به واسطه خارجی (مدرس) ندارند. برای توصیف مفاهیم، محتوا با توجه به زمینه ذهنی و زبانی فراگیران تجزیه و تحلیل شده و به‌صورت منطقی ارائه می‌شود. ماهیت این محتواها به ماهیت برنامه درسی باز مربوط است و این برنامه پیش‌بینی می‌کند که مطالب کاملا واضح و مفصل باشد و چیزی برای تصور و تفسیر مفهوم باقی نماند. همچنین اگر یک محتوا نیاز به استفاده از مواد دیگری داشته باشد، به‌همراه آن تهیّه می‌گردد (دی و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۱۰).

خودراهبر: مطالب خودآموز باید به شکلی طراحی شوند که برای یادگیری و پیشرفت فراگیران مسیرهای لازم را فراهم کند. این کار در مواد خودآموز با استفاده از تکنیک‌های متنوعی از جمله استفاده از راهنما، تذکر، نکته یادداشت، تصاویر و دستورالعمل‌های صریح درمورد چگونگی انجام کار، انجام چه کاری و آنچه از یادگیرنده انتظار می‌رود، صورت می‌پذیرد. استفاده از اهداف یادگیری، راهنمایی در مقدمه، یک شیوه نگارش محاوره‌ای، نحوۀ پاسخ دادن به سؤالات خودارزیابی عناصر خود راهبر هستند که در محتوای خودآموز جهت تسهیل یادگیری استفاده می‌شوند (دی و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۱۰).

خودانگیزاننده: یکی از مهمّ ترین نقش‌های یک مدرس (معلم) در سیستم آموزشی چهره به چهره ایجاد انگیزه و ترغیب فراگیران به سمت مطالعه و تحقیق است. در یادگیری خودآموز نیز باید این ویژگی‌ها لحاظ شوند. مواد خودآموز باید کنجکاوی و علاقه فراگیر را برانگیزد و فراگیران را به سمت مطالعه عمیق و تفکر انتقادی تشویق کند. این امر با استفاده از یک سبک نگارش شخصی، استفاده از مثال‌ها، تصویرسازی واقعی، بازخورد درمورد سؤالات خودارزیابی و غیره ارائه می‌گردد (دی و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۱۰).

خودارزیاب: موضوع دیگری که باید در نظر گرفته شود این است که برای فراگیران مهم است که میزان پیشرفت خود را بدانند به‌همین منظور مواد خودآموز باید سؤالات خودارزیابی و بازخورد

شخصی ارائه دهند تا فراگیران بتوانند خود را ارزیابی کنند. خصوصیّات خودارزیابی مواد یادگیری خودآموز پیش‌بینی می‌کند که فراگیران از واحد یادگیری به‌صورت فعّال استفاده کنند که در آن استفاده از سؤالات درون متن، سؤالاتخودآزمایی، تمرین‌های پایانی، فعّالیّت‌های تامل بر عملکرد و بازخورد نقش مهمی دارند.

استفاده از اهداف یادگیری در افعال رفتاری برای سنجش میزان دستیابی به یادگیری نیز روش دیگری برای توانمندسازی یادگیرنده است. با استفاده از این ۵ ویژگی اساسی، می‌توان هرگونه ماده آموزشی خودآموز را تهیّه کرد (دی و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۱۰).

پیشینه پژوهش

زندی در پژوهشی تحت عنوان تولید محتوای آموزشی در مبحث مقدمه‌ای بر نانو فناوری برای دانشجویان با دیدگاه آموزش برنامه‌ای توانست در زمینه خواصّ نوری نانو مواد، محتوای آموزشی خودخوان برای اساتید و دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای رشته‌های مرتبط تولید کند. او در این پژوهش ویژگی‌های محتوای خودخوان را در محتوای تولیدی خود رعایت کرد و از خودآزمایی، بیان اهداف آموزشی ، بیان تاریخچه موضوع علمی، جدول، شکل و طرحواره‌ها و ... استفاده کرد (زندی، ۱۳۹۶).

شکوهی فرد و همکارانش، مقاله‌ای با هدف بررسی اهم اصول سازماندهی محتوای آموزشی ارائه دادند. در این مقاله کتاب درسی را به سه بخش مقدمات (طرح جلد، صفحه عنوان، صفحه حقّ مؤلف، صفحه تقدیم، صفحه معرفی مؤلّفان و تشکر، فهرست محتوا، فهرست تصاویر، فهرست جداول و نمودارها، پیشگفتار، مقدمه کتاب درسی، سخنی با مدرسان، سخنی با دانشجویان؛ بخش اصلی یا پیکره عناوین، طرح چند پرسش اساسی، اهداف آموزشی، تعریف واژه‌ها و مفاهیم کلیدی، مقدّمه، طرح کلی، موضوعات و مباحث اصلی، طرح‌ها و تصاویر، جدول‌ها و نمودارها، خلاصه فصل، ارزشیابی اهداف آموزشی، منابع و مآخذ فصل و بخش پایانی (ضمایم و پیوست‌ها، واژه نامه، نمایه، منابع و مآخذ) تقسیم کردند. اهم اصول سازماندهی محتوای آموزشی آورده شده در این مقاله را می‌توان چنین خلاصه کرد: ۱) توالی مطالب مانند سازماندهی از ساده به مشکل، درج مطالب با درنظر گرفتن پیش نیازها، ترتیب مطالب از کل به جزء، توالی زمانی در برخی از موضوعات خاص و تنظیم افقی محتوا؛ ۲) سازمان دادن محتوا برای یادگیری تراکمی یا مداومت؛ یعنی اصول، مفاهیم، اصطلاحات و افکار عمیق در فصول پایانی کتاب و محتوای آموزشی ارائه شود و مطالب یکدیگر را کامل کند؛ ۳) پیروی از منطق یادگیری (یافته های نظریه های روانشناسی یادگیری) در سازماندهی محتوا؛ ۴) انسجام و یکپارچگی مطالب و مباحث (شکوهی فرد و همکاران، ۱۳۸۵).

اسدیان در پژوهشی محتوای آموزشی خودخوان در مبحث خواصّ مغناطیسی برای دانشجویان کارشناسی، با استفاده از شاخص‌های استاندارد یک محتوای خودخوان برای اساتید و دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای رشته‌های مرتبط تولید کرد. محتوای طراحی شده او شامل تاریخچه کشف آهنربا و نظریه‌های خاصیّت آهنربایی؛ تاریخ الکتریسیته و میدان های الکتریکی، مغناطیسی و الکترومغناطیسی؛ خاصیّت مغناطیسی الکترون در اتم و انواع حوزه های مغناطیسی؛ خاصیّت مغناطیسی نانو مواد؛ تحلیل نانو ذرّات مغناطیسی با نظریّهٔ استونر-ولفارث؛ بررسی تغییرات خاصیّت مغناطیسی در نانوذرات با دما و اندازه ذرّه بود (اسدیان، ۱۳۹۶).

بدیعی پژوهشی تحت عنوان تولید محتوای آموزشی خودخوان در مبحث میکروسکوپ های الکترونی برای اساتید و دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای رشته‌های مرتبط انجام داد. محتوای طرّاحی شده او شامل تاریخچه کشف نور و خواصّ نور؛ اپتیک و شرح آینه ها و عدسی های مختلف؛ ساختار و عملکرد میکروسکوپ نوری؛ خواصّ موجی نور در سرعتهای بالا؛ ساختار، بخشها ی مختلف و کارکرد میکروسکوپ الکترونی روبشی بود (بدیعی، ۱۳۹۷).

خندق آبادی در پژوهشی به طراحی و تولید محتوای آموزشی خودخوان در مبحث روش‌های فیزیکی سنتز ناومواد برای اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته‌های مرتبط پرداخت و چندین فصل با عناوین زیر طراحی و تولید نمود: اصول و دستگاهوری روش‌های تبخیر؛ اصول و دستگاهوری روش‌های سنتز نامواد با سایش لیزری؛ اصول و دستگاهوری روش‌های کندو پاش (خندق آبادی، ۱۳۹۸).

روش پژوهش

این پژوهش با هدف تهیّه یک محتوای آموزشی خودخوان در مبحث آشکارسازهای تکثیرکننده الکترونی صورت پذیرفته است که از نظر روش توصیفی-تحلیلی وکتابخانه‌ای و ابزار آن فیش‌های کاغذی با ابعاد ۲۱×۱۵ سانتی‌متر است. برای این کار ابتدا هدف کلّی آموزشی به اهداف جزیی شامل بررسی ساختار آشکارساهای الکترونی، شرح عملکرد اجزای دستگاه، انواع آشکارسازهای الکترونی و کاربرد آنها، بهره‌ی آشکارساز و عوامل مؤثّر بر آن تقسیم و برای هر هدف جزیی، اهداف رفتاری تدوین شد. سپس برای این اهداف رفتاری محتوای مناسب از طریق ترجمه متون علمی جمع آوری و مورد نقد و تحلیل واقع شد و پس از تحلیل و تکمیل اطّلاعات آن‌ها، محتواها اولویت بندی شده و براساس سختی و آسانی و پیش نیازها محتوای نهایی نگارش و تدوین شد. این محتواها بر اساس شاخص‌های کتاب‌های خودآموز سری "آموزش شیمی تجزیه به روش آزاد" تنظیم و طراحی شده است. بعضی از این شاخص‌ها عبارتند از: بیان اهداف آموزشی کلی و جزیی، استفاده از متن ساده،

جملات روشن و کوتاه، استفاده از شکل‌های مناسب، جدول، خودآزمایی، مثال، خلاصه فصل در انتهای هر فصل، طرحواره‌ها و... . اهداف پژوهش به شرح زیر می باشد:

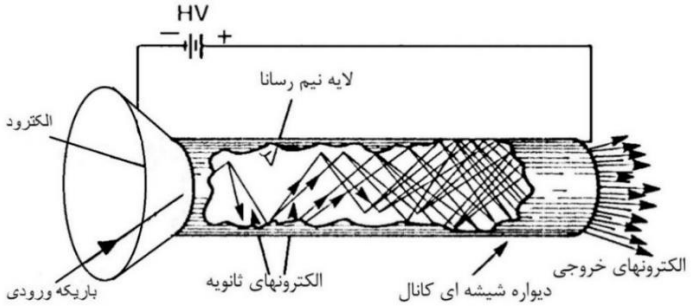
- دسته بندی و بیان انواع آشکارسازهای تکثیرکننده الکترونی
- مکانیسم کارکرد آشکارساز تک کانالی و فرایند ساخت این آشکارسازها
- شرح بهره در آشکارسازهای تک کانالی و عوامل مؤثّر بر بهره آشکارساز تک کانالی
- بررسی تاثیر ولتاژ دو سر کانالCEM بر بهره آشکارساز تک کانالی
- شرح تاثیر نسبت طول کانال به قطر آن بهره آشکارساز تک کانالی
- شرح تاثیر شکل هندسی لوله کانال بهره آشکارساز تک کانالی
- تبیین گستره پویا و گستره خطی در آشکارسازهای تک کانالی
- مکانیسم کارکرد آشکارسازهای الکترونی چندکاناله

نتایج این پژوهش با عنوان طراحی محتوای آموزشی خودخوان برای مبحث آشکارسازهای تکثیرکننده الکترونی ارائه شده است.

نتایج (محتوای طراحی شده)

تکثیر کننده‌های الکترونی در سال ۱۹۵۸ ساخته شدند اما اولین تکثیرکننده الکترونی کانالی[1] (CEM) در آمریکا در سال ۱۹۷۳ ساخته شد. ساختار و عملکرد آنها شباهت زیادی به آشکارسازهای فوتو لوله تکثیرکننده دارد با این تفاوت که در فوتو لوله تکثیرکننده شدت نور اندازه‌گیری می‌شود و فوتون‌های نور پس از برخورد به سطح کاتد، الکترون‌های ثانویه زیادی تولید و تکثیر می‌نمایند اما در آشکارسازهای تکثیرکننده الکترون، ذره برخورد کننده به سطح کاتد، الکترون می‌باشد و برخورد الکترون سبب تولید و تکثیر الکترون‌های ثانویه زیادی می‌شود. آشکارسازهای تکثیر کننده الکترون از یک یا چند کانال[2] ساخته شده اند (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶) که ساختار یک کانال در شکل۱ نشان داده شده است.

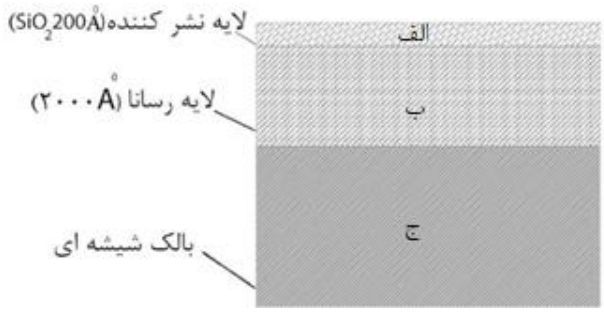
[1] Single Channel Electron multiplier or Channel Electron multiplier
[2] Channeltron



شکل۱-آشکارساز تکثیرکننده الکترونی

همان گونه که شکل نشان می‌دهد یک کانال از دو بخش تشکیل شده است. بخش ورودی که الکترون‌های مورد بررسی (الکترون های اولیه) به آن برخورد می‌کنند و مخروطی شکل می‌باشد و الکترون‌ها در فاصله‌های نزدیک به این مخروط شتاب داده می‌شوند. جنس سطح داخلی این مخروط از SiO_2 است که توسط فرآیندهای شیمیایی رسانایی الکتریکی آن تغییر یافته است و خاصیّت نیمه رسانایی دارد و در اثر برخورد الکترون‌های پر انرژی اولیه، از سطح خود الکترون نشر می‌کند (نشر ثانویه). انرژی و شتاب الکترون‌های اوّلیه آنقدر زیاد است که پس از برخورد، سبب کنده شدن ۴-۲ الکترون از سطح مخروط می‌شوند. بین سطح مخروط و بخش انتهایی کانال، اختلاف پتانسیلی در حدود ۴-۲ کیلو ولت برقرار است. سطح مخروط به قطب منفی و انتهای کانال به قطب مثبت (آند) منبع تغذیه وصل است. این اختلاف پتانسیل سبب می‌شود تا الکترون‌های ثانویه به سمت آند و انتهای کانال حرکت نمایند. مشابه با ساختار آشکارسازهای فوتولوله تکثیرکننده، تعدادی دینود قرار دارد که هر دینود نسبت به دینود قبلی ۲۰۰-۱۰۰ ولت مثبت تر است لذا الکترون‌های ثانویه که در دینود اول تولید می‌شوند به سمت دینود بعدی شتاب می‌گیرند و پس از طی یک مسیر سهمی شکل به سطح آن برخورد می‌کنند و مجددا به ازای هر الکترون ۴-۲ الکترون ثانویه جدید تولید می‌شوند و به‌عبارتی در هر برخورد تعداد الکترون‌ها زیاد می‌شوند و تکثیر می‌یابند. این فرآیند مرتباً درهر دینود تکرار می‌شوند تا تمامی الکترون‌های تولید و تکثیر شده از انتهای کانال خارج می‌شوند (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶) . معمولاً تعداد دینودها و اختلاف پتانسیل بین دو انتهای کانال به حدی است که به ازای هر الکترون اولیه که به سطح مخروطی کانال برخورد می‌کنند 10^8 الکترون از انتهای کانال خارج می‌شود (وات و ولستنهولم، ۲۰۰۳، ص. ۴۵). شکل ۲ ساختار یک آشکارساز تک کانالی تکثیرکننده الکترون را نشان می‌دهد. آشکارساز تکثیرکننده الکترون در واقع یک شیشه از جنس سیلیکات سرب با قطر داخلی ۱ mm و قطر خارجی ۶-۲ mm است که سطح داخلی آن فراوری

شیمیایی شده است به نحوی که خاصیّت نیمه رسانایی و هم‌چنین نشر الکترون‌های ثانویه در آن بوجود آمده است.



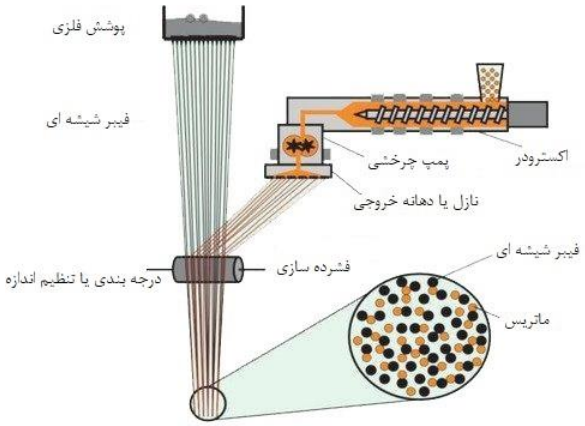
شکل ۲- ساختار آشکارساز تک کانالی

امروزه آشکارساز تکثیرکننده الکترون با قطر خارجی ۶ میلی‌متری از اندازه‌های دیگر رایج‌تر است. همانگونه که از شکل ۲ پیدا است بدنه شیشه دارای سه بخش متفاوت است. تکثیر و نشر الکترون‌های ثانویه در قسمت الف انجام می‌شود این قسمت که بخش اصلی آشکارساز است ضخامتی حدود ۲۰۰ آنگستروم دارد. در زیر قسمت الف یا لایه نشر ثانویه، لایه ب با ضخامت چندصد تا چند هزار آنگستروم وجود دارد این لایه رسانا می‌باشد. بخش باقیمانده (بخش ج) لوله شیشه ای بزرگترین حجم و اندازه را دارد که به آن بالک گفته می‌شود (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶).

فرآیند ساخت آشکارساز تک کانالی

برای ساخت آشکارساز تک کانالی، شیشه‌های سیلیکات سربی را از دستگاه اکسترودر[1] با فشار و گرما عبور می‌دهند تا به صورت لوله‌های موئینه با قطر داخلی ۱ mm و قطر خارجی۲-۶ mm خارج شود. دستگاه اکسترودر شبیه به یک چرخ گوشت عمل می‌کند. اگر یک شمش یا قطعه جامد را در دستگاه اکسترودر وارد نمایند و به آن آنقدر حرارت دهند تا به حالت خمیر نیمه جامد و انعطاف پذیر درآید سپس این ماده خمیری شکل را با فشار از صفحه‌ای که دارای روزنه‌هایی به قطر مشخص است عبور دهند خمیر نیمه مذاب به شکل لوله‌هایی با قطری برابر با قطر روزنه‌های صفحه خروجی دستگاه اکسترودر خارج می‌شود.

[1] Extruder



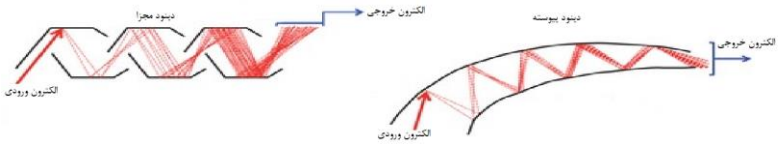
شکل۳- فرآیند ساخت آشکارساز تک کانالی

شیشه‌های سیلیکات سربی را با فشار و دمای بالا از اکسترودر عبور می‌دهند و لوله‌های موئینه خارج شده را با طول ۵ اینچ (۱۲/۵ سانتیمتر) برش می‌دهند. سر ابتدایی این لوله ها به وسیلهٔ یک ابزار کربنی داغ به صورت مخروط، شکل داده می‌شود ادامه لوله شیشه‌ای نیز به شکل خمیده و دلخواه، در می‌آید سر انتهایی لوله موئینه برای حذف تراشه‌های احتمالی با سنباده جلا داده می‌شود. در مرحله بعد گاز هیدروژن داغ با خلوص بالا را از درون لوله عبور می‌دهند تا اکسید سرب موجود در سطح درونی لوله موئینه به سرب کاهیده شود. این فرآیند کاهش باعث می‌شود که رنگ شیشه، سیاه براق شود و همچنین رسانایی و توانایی نشر و تولید الکترون‌های ثانویه در آن به وجود آید. سپس در سطح بیرونی لوله موئین، یک مادّهٔ رسانا به صورت نقطه‌ای و جدا از یکدیگر پوشش داده می‌شود این نقاط، یک مسیر با خاصیّت رسانایی الکتریکی برای هدایت الکترون‌های ثانویه به سمت سطح داخلی لوله موئین فراهم می‌کند. فیلم‌های نازک فلزی (یا الکترودها یا دینودها) با روش تبخیر حرارتی پوشش داده می‌شوند و تکثیرکننده الکترون نهایی در یک قالب سرامیکی یا فولادی قرار می‌گیرد (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶). فرآیند ساخت این آشکارسازها در شکل۳ نشان داده شده است.

- **انواع آشکارسازهای تکثیرکننده الکترونی**

این آشکارسازها برحسب تعداد کانال به دو دسته یک کاناله و چند کاناله[1] تقسیم می‌شوند (دل مار فوتونیک، بیتا) از نظر جنس الکترود و دینود نیز این آشکارسازها به دو دسته دینود مجزا و دینود پیوسته دسته بندی می‌شوند که در شکل ۴ نشان داده است.

[1] Micro-channel plate



شکل۴- انواع آشکارسازهای تکثیر کننده الکترونی

آشکارسازهای قدیمی از جنس مس-بریلیوم هستند و دینودهای آن از یکدیگر مجزا می‌باشند و جریان بزرگی در حدود ۱۰۰ میکرو آمپر تولید می‌کنند. دینود مجزاها، سیگنال ناپایدار و تکرار ناپذیری تولید می‌کنند. اما آشکارسازهای نسل جدید که از دینودهای آلومینیومی پیوسته ساخته شده و بزرگتر و گرانتر هستند با سرامیک یا مخلوط شیشه-سرامیک پوشش داده می‌شوند کیفیت این دسته از آشکارسازها، بهتر و مناسب‌تر از تک کاناله دینود مجزا می‌باشد. این آشکارسازها از نوع تک کانالی هستند امّا می‌توان از آنها آرایه های دوبعدی ساخت (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶).

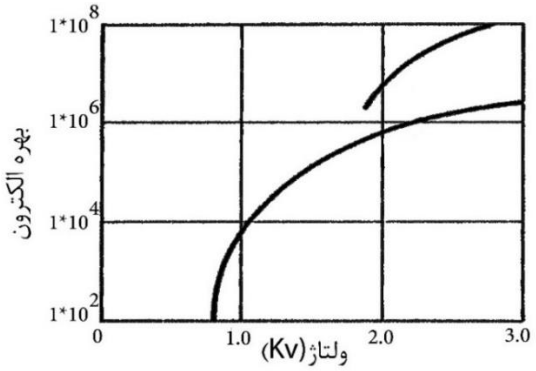
- **بهره در آشکارسازهای تک کانالی**

همان طور که در بخش‌های پیشین گفته شد تعدادی الکترون به بخش ابتدایی و مخروطی شکل آشکارساز برخورد می‌کنند و در بخش لوله‌ای شکل آن در هر دینود مرتباً تکثیر می‌شوند و بدین ترتیب جریان الکتریکی بزرگی ایجاد می‌کنند. نسبت جریان خروجی I_0 به جریان ورودی I_{in} را بهره آشکارساز می‌گویند که با رابطه I_0/I_{in} نشان داده شده است: مقدار بهره آشکارسازهای تک کانالی (CEM) به عوامل زیر بستگی دارد:

- ✓ ضریب نشر ثانویه (δ) در کانال یا لولهCEM
- ✓ ولتاژ اعمال شده به دو سر کانالCEM
- ✓ نسبت طول کانال به قطر آن
- ✓ شکل هندسی لوله کانال

در شکل۵ نمودار تاثیر پتانسیل بر بهره الکترونی آشکارساز تک کانالی نشان داده شده است. همان گونه که از نمودار۵ پیداست چنانچه به دو سر کانال اختلاف پتانسیل اعمال نشود بهره الکترونی آن صفر خواهد بود زیرا الکترون‌های کنده شده از سطح داخلی کانال، مجددا جذب دیواره مثبت کانال می‌شوند که به آن باز ترکیب الکترون می‌گویند و هیچ الکترونی از انتهای کانال خارج نمی‌شود و بهره الکترونی آن صفر خواهد شد. با اعمال پتانسیل و اتصال انتهای کانال به قطب مثبت تعدادی از الکترون‌های اولیه و ثانویه کنده شده به سمت بخش انتهای کانال

حرکت می‌کنند و در هر بار برخورد با دینودها، تکثیر الکترون انجام می‌شود و بهره الکترونی آشکارساز عدد بزرگی خواهد شد.



شکل۵-نمودار تاثیر پتانسیل بر بهره الکترونی آشکارساز تک کانالی

با افزایش اختلاف پتانسیل بین دو سر کانال کسری از الکترون‌ها که در کانال حرکت می‌کنند و پس از تقویت‌های پیاپی در دینودها به انتهای کانال می‌رسند بیشتر می‌شود و جریان الکتریکی و بهره بزرگتری ایجاد می‌کند. مثلا در اختلاف پتانسیل ۱ کیلو ولت، بهره الکترونی آشکارساز حدود ۹×۱۰^{۳} است به عبارتی به ازای یک الکترون اولیه که وارد مخروط ابتدایی کانال می‌شود ۹۰۰۰ الکترون در کانال تولید و از انتهای کانال خارج می‌شود اما جایی می‌رسد که با افزایش اختلاف پتانسیل دو سرکانال، بهره الکترونی ثابت می‌ماند یا بهره الکترونی مستقل از پتانسیل خواهد شد که به آن پتانسیل اشباع می‌گویند. دلیل این امر، بار مثبت زیاد دیواره در انتهای کانال است زیرا در دینودهای انتهایی تعداد زیادی الکترون به دینودها برخورد می‌کند و به میزان ۴-۲ برابر، الکترون از آن خارج می‌شود. جداشدن این تعداد الکترون ثانویه، بار مثبت زیادی در دیواره انتهای لوله ایجاد می‌کند و این بار مثبت زیاد در دیواره، در برابر کنده شدن الکترون مقاومت می‌کند و لذا بهره الکترونی دیگر افزایش نمی‌یابد و ثابت می‌ماند. در عمل، برای استفاده از آشکارساز تک کانالی، پتانسیل کاری را در ناحیه پتانسیل اشباع قرار می‌دهند. از آشکارسازهای تک کانالی در دو حالت پالسی و آنالوگ استفاده می‌شود که پتانسیل کاری به نوع حالت پالسی یا آنالوگ آن بستگی دارد (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶).

- **تاثیر نسبت طول به قطر کانال بر بهره**

فرآیند تکثیر الکترون و تقویت جریان الکتریکی در این آشکارسازها در کانال انجام می‌شود بنابراین با افزایش طول کانال تقویت جریان الکتریکی بیشتر انجام شده و بهره آن افزایش می‌یابد اما از سوی دیگر مقاومت الکتریکی کانال نیز با افزایش طول کانال زیاد می‌شود و باعث کاهش جریان خروجی می‌گردد بنابراین در یک اختلاف پتانسیل معین اعمال شده به دو سر کانال، مقدار بهینه ای برای نسبت طول به قطر کانال وجود دارد. در آشکارسازهای آنالوگ این نسبت بهینه ۳۵-۳۰ و در آشکارسازهای پالسی این نسبت بیشتر از ۵۰ می‌باشد (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶).

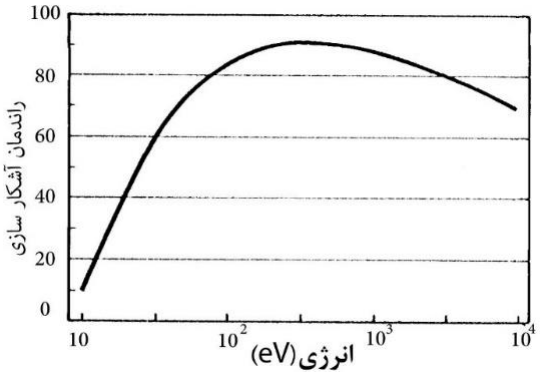
- **تأثیر شکل هندسی بر بهره الکترونی**

در آشکارسازهای تک کانالی که کانال آن به شکل مستقیم طراحی شده بود بهره الکترونی از $۱۰^{۴}$-$۱۰^{۵}$ بیشتر نمی‌شد. اما چنانچه در شرایط یکسان، لوله به صورت خمیده طراحی و ساخته شود بهره الکترونی بهره الکترونی به $۱۰^{۸}$ نیز می‌رسد و متوقف می‌شود دلیل این ثابت ماندن بهره الکرونی، یونیزاسیون گازهای جذب سطحی شده در سطح بیرونی کانال می‌باشد که به آن پدیده بازخورد یونی گفته می‌شود. چگالی الکترون‌های ثانویه خروجی از انتهای کانال، بسیار زیاد است لذا گازهایی که در سطح کانال جذب شده اند به یون مثبت گازی تبدیل می‌شوند یعنی بخش انتهایی دیواره کانال، از گازهای جذب شده در سطح دیواره، الکترون می‌گیرد و آن را به یون مثبت تبدیل می‌کند. این یونهای مثبت تولید شده به سمت قطب منفی (کاتد) یا بخش مخروطی شکل کانال حرکت می‌کنند و پس از برخورد به سطح داخلی مخروطی سبب کندن الکترون‌های ثانویه از آن می‌شود. این الکترون-ها نیز مانند سایر الکترون‌ها در طول لوله حرکت کرده و پس از برخورد به دینودهای مختلف به صورت یک نویز (نوفه) در سیگنال خروجی ظاهر می‌شوند زیرا فرآیندی خطی نیستند و ماهیّت نویز یا خطا دارند به این فرآیند بازخورد یونی گفته می‌شود. اگر لوله کانال به شکل خمیده باشد واجذب و یونش گازهای جذب شده در سطح کانال کاهش می‌یابد و این یون‌ها مسافت کمتری حرکت می کنند بنابراین احتمال رسیدن و برخورد یون‌ها به مخروط کانال و تولید نوفه کاهش می‌یابد. با طراحی لوله کانال به شکل خمیده، بهره آشکارسازها در حالت آنالوگ به $۱۰^{۷}$ و در حالت اشباع و پالسی به $۱۰^{۸}$ می‌رسد (دل مار فوتونیک، بیتا).

- **گستره پویا و گستره خطی در آشکارسازهای تک کانالی**

همان طور که گفته شد پس از اعمال پتانسیل مناسب، برخورد الکترون به بخش مخروطی کانال سبب ایجاد جریان الکترونی در آن می‌شود. گستره ای که آشکارساز یک جریان قابل اندازه گیری تولید می‌کند را گستره پویا می‌نامند اما جریان خروجی آشکارساز آنالوگ در ۲۰-۱۰ درصد این محدوده با الکترون‌های برخوردی به مخروط کانال رابطه خطی دارند که به آن گستره خطی گفته می‌شود. جریان خروجی حدود ۴۰-۳۰ میکروآمپر می‌باشد بنابراین ناحیه خطی این آشکارسازها ۱۰-

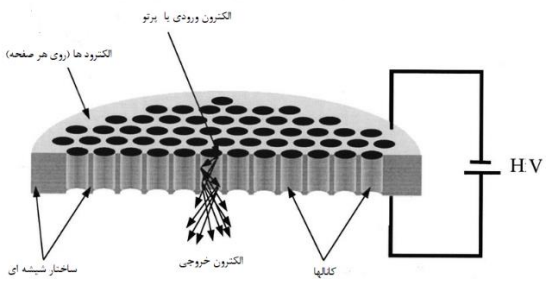
۵ میکروآمپر می‌باشد. بهترین کارآیی این آشکارسازها برای تشخیص و اندازه‌گیری شدت الکترون‌ها هنگامی است که انرژی الکترون‌های اولیه $۱۰^{۳}$-$۱۰^{۲}$ الکترون ولت باشد (کریستو و انکه، ۱۹۹۶، ص. ۶).



شکل۶-نمودار تاثیر انرژی الکترون‌های اولیه بر بهره آشکارساز

- **آشکارسازهای الکترونی چندکاناله**

این آشکارسازها در واقع یک صفحه دایره ای شکل به قطر حدود ۱۷ و ضخامت ۱/۲-۰/۵ میلی‌متر هستند که حدود $۱۰^{۶}$حفره در آن ایجاد شده است. شکل۷ ساختار این آشکارسازها را نشان می‌دهد. سطح داخلی این حفره‌ها از جنس شیشه حاوی اکسید سرب است که توسط هیدروژن در دمای ۲۵۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد احیا شده و به سرب تبدیل شده است (ویزا، ۱۹۷۹، ص. ۵۸۷) که قبلا در بخش آشکارسازهای تک کانالی توضیح داده شد . همان گونه که گفته شد این شیشه خاصیّت نیمه رسانا دارد و در اثر برخورد الکترون یا فوتون، از خود الکترون‌های ثانویه نشر می‌کنند. هر حفره مانند یک کانال عمل می‌کند با این تفاوت که دهانه ورودی آن مخروطی شکل نیست و ابعاد آن بسیار کوچک‌تر است (وات و ولستن‌هولم، ۲۰۰۳، ص. ۴۵).



شکل۷- آشکارسازهای الکترونی چندکاناله

در واقع آشکارساز چندکاناله یا آشکارساز صفحه‌ای میکروکانال، یک مجموعه میلیونی از آشکارسازهای تک‌کانالی ظریف و مینیاتوری است که به فاصله ۳ میکرون از یکدیگر قرار دارند این فاصله قدرت تفکیک فضایی میکروکانال‌ها را تعیین می‌کند. قطر هر حفره ۱۰۰-۱۰ میکرون است که رایج‌ترین آنها ۱۲ میکرون است و نسبت طول به قطر حفره‌ها ۱۰۰-۴۰ است. فاصله بین مرکز دو حفره متوالی حدود ۱۵ میکرون است و بنابراین قدرت تفکیک فضایی آنها حدود این عدد خواهد بود. در صفحه بالایی و پایینی صفحه شیشه‌ای چند کاناله یا میکرو کانال یک لایه نازک از فلزات رسانا مانند نیکروم (نیکل و کروم) نشانده می‌شود که به آن الکترود نیز گفته می‌شود و اختلاف پتانسیل بین این دو لایه، سبب حرکت الکترون از سطح ورودی به سطح خروجی و هم‌چنین تکثیر الکترون در داخل حفره می‌شود. اختلاف پتانسیل اعمالی در محدوده ۲۵۰۰-۱۰۰ ولت است و این آشکارساز در فشار 10^{-6} میلی‌متر جیوه کار می‌کند. هر کانال یا حفره را می‌توان مجموعه به‌هم پیوسته‌ای از تعدادی دینود فرض کرد. از آنجا که مقاومت شیشه کانال بزرگ و در حدود 10^{8} اهم است می‌توان از طراحی دینود پیوسته برای آن استفاده کرد (ویزا، ۱۹۷۹، ص. ۵۸۷). مشکل اساسی آشکارسازهای چندکاناله، بازخورد یونی است که در اثر برخورد الکترون به اتم‌های گازهای باقی‌مانده جذب سطحی شده در داخل حفره ها به وجود می‌آید و این گازها درون حفره در اثر برخورد الکترون-های اولیه، یونیزه شده و یون مثبت به سمت ابتدای حفره یا بخش ورودی حرکت می‌کند و در بخش ورودی با برخورد به سطح داخلی حفره سبب تولید الکترون ثانویه می‌شود و این الکترون‌های ثانویه مجددا به سمت انتهای آشکارساز حرکت کرده و در اثر برخوردهای متوالی به دینودهای فرضی تقویت می‌شود و یک جریان قابل توجه که مانند خطا عمل می‌کند تولید می‌شود (جی‌وایس، ۲۰۱۵، ص.۲۵۴) از طرفی چنانچه یون مثبت این گازها، انرژی کافی داشته باشد می‌توانند سبب آسیب به آشکارساز نیز شود. انرژی این ذره باردار به فشار آن، پتانسیل بین دو سطح آشکارساز، بهره الکترونی آشکارساز، ماهیت یون‌های گازی و خواصّ سطحی کانال شیشه‌ای بستگی دارد. در عمل برای حذف فرآیند بازخورد یونی از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

۱- از پتانسیل‌های کمتر استفاده می‌شود.

۲- در فشارهای کمتر استفاده می‌شود زیرا در فشارهای کم احتمال وجود اتم‌ها و گازهای باقیمانده کمتر می‌شود.

۳- زاویه بین حفره‌ها با سطح ورودی را حدود ۸ درجه می‌سازند زیرا یکی از دلایل رسیدن یون‌های مثبت به سطح ورودی اختلاف پتانسیل بالا و مستقیم بودن طول کانال بود. امروزه از کانال‌هایی با زاویه حدود ۸ درجه استفاده می‌کنند (ویزا، ۱۹۷۹، ص. ۵۸۷).

از آشکارسازهای چندکاناله در روش‌ها و دستگاه‌هایی استفاده می‌شود که سیگنال دستگاه را در یک آرایه دو بعدی لازم داشته باشند و سپس با پیمایش سطح نمونه و جذب فوتوالکترون‌های آزاد شده در مکان‌های مشخص تصویری به دست می‌آید که شبیه الگوی فضایی الکترون‌های ورودی و هم‌چنین پالس‌های خروجی و متناسب با سطح نمونه پیمایش شده است از همین روی این آشکارسازها حساس به موقعیت هستند و در موارد زیر از آن‌ها استفاده می‌کنند.

- زمانی که تصویری دو بعدی برحسب مختصات x_y از نمونه لازم باشد که با آشکارسازی و کنار هم قراردادن پالس فوتوالکترون‌ها در هریک از این صفحه‌ها می‌توان تصویری دو بعدی از سطح نمونه را ایجاد کرد.
- می‌توان پیمایش سطح نمونه را فقط در یک بعد x انجام داد اما انرژی این فوتوالکترون‌ها را در کانال‌های مختلف اندازه‌گیری کرد و منحنی (E_X) برای نمونه رسم کرد یا به‌عبارتی نمونه را بصورت خطی پیمایش کرد.
- می‌توان فوتوالکترون‌هایی که از سطح نمونه در یک نقطه معین تولید می‌شوند را در زوایای مختلف آشکار کرد و طیف XPS نمونه را در زوایای مختلف تجزیه و تحلیل نمود (وات و ولستنهولم، ۲۰۰۳، ص. ۴۵).

منابع

زندی، سما. (۱۳۹۶). طراحی و تولید محتوای آموزشی خودخوان در مبحث بررسی خواصّ نوری نانو مواد نیمه رسانا برای دانشجویان کارشناسی. پایان نامه کارشناسی ارشد. تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

شکوهی فرد، حسین و محمد حسینایی و اسدالله زنگویی. (۱۳۸۵). اصول و روش های سازماندهی محتوای کتاب درسی دانشگاهی. مقاله ارایه شده در اولین همایش بین المللی کتاب درسی دانشگاهی(سمت). تهران.

اسدیان، حلیمه. (۱۳۹۶). طراحی و تولید محتوای آموزشی خودخوان در مبحث بررسی خواصّ مغناطیسی نانو مواد. پایان نامه کارشناسی ارشد. تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

خندق‌آبادی، لیلا. (۱۳۹۸). طراحی و تولید محتوای آموزشی خودخوان در مبحث روشهای فیزیکی سنتز نانو مواد برای دانشجویان کارشناسی. پایان نامه کارشناسی ارشد. تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

بدیعی، دلآرام. (۱۳۹۷). طراحی و تولید محتوای آموزشی خودخوان در مبحث میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی. پایان نامه کارشناسی ارشد. تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

Del Mar Photonics, Inc. Microchannel Plates and Detectors General Description - MCP 34-10: http://www.dmphotonics.com/MCP_MCPImageIntensifiers/microchannel_plates.htm. Accessed September 7, 2018.

Dey, N., & Chaudhary, S. V. S. (2016). The Perception of B. Ed. Students on Printed Self-Learning Material and Learning Style in ODL. pp 10-13.

Gys, T. (2015). Micro-channel plates and vacuum detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 787, 254-260.

Kaya, Z., & Akdemir, A. S. (2016). Learning and Teaching: theories, approaches and models. *Ankara: Çözüm Publishing*. Pp 2-6.

Kristo, M. J., & Enke, C. G. (1991). Channeltron Electron Multiplier Handbook for Mass Spectrometry Applications. Pp.6-24.

Newby, T., Stepich, D., Lehman, J., & Russell, J. (2000). Instructional technology for teaching and learning: Designing instruction, integrating computers, and using media. *Educational Technology & Society*, 3(2), 106-107.

Sobhaninejad, M. (2005). Theories of Learning and Their Applications in Process of Teaching Humanities. *Quarterly journal of Research and Planning in Higher Education*, 10(4), 1-9. [Persian]

Watts, J. F., & Wolstenholme, J. (2003). An introduction to surface analysis by XPS and AES. An Introduction to Surface Analysis by XPS and AES, by John F. Watts, John Wolstenholme, pp 45-48. ISBN 0-470-84713-1.

Wiza, J. L. (1979). Microchannel plate detectors. *Nucl. Instrum. Methods*, 162(1-3), 587-601.

Research Article

Research in Chemistry Education, Vol 2, No 3, 19-36

Research in Chemistry Education

http://chemedu.cfu.ac.ir

Designing Self-study Educational Content on the Topic of Electronic Multiplier Detectors for Undergraduate and Graduate Students

Alireza Karami gazafi [*1], Fereshteh Sadat Saiahi[2]

Department of chemistry Shahid Rajaee teacher training university, Tehran, Iran

Abstract

Electron multiplier detectors measure the number or intensity of positively and negatively charged particles, and even photons and used in X-ray spectroscopy, Auger spectroscopy and X-ray photoelectron. The present study deals with the design and production of educational content in the field of electron multiplication detectors with a self-study approach. The research method was library research and indexing has been used as a data gathering tool. First, the general educational goal was divided into several smaller partial goals, and for the purpose of partial education, behavioral goals were formulated. For these behavioral goals, appropriate content was collected through the translation of scientific texts and their analysis, and the final content was compiled for each behavioral purpose by comparing and analyzing different sheets. At the end of the research, it was found that electronic detectors can be examined in different categories. They are divided into two categories of single-channel and multi-channel according to the number of channels, and according to the type of dynode, they are divided into two categories of separate and continuous dynodes. Their geometric shape and structure is one of the factors affecting the detector gain. In this research, the performance of these detectors, their main performance and job description of each part, the factors affecting their efficiency and their errors have been investigated and analyzed.

Keywords: Tutorial Content, Electron Detector, X-ray spectroscopy, Undergraduate and Graduate courses.

[*]Corresponding Author: (✉ arkaramigazafi@gmail.com)