



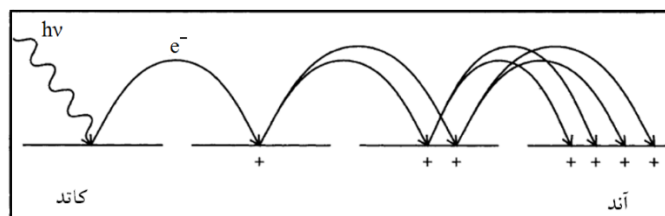
## آشکارسازها در طیف‌سنجی اتمی

تقریباً در همه طیف‌سنج‌های جذب اتمی از لوله‌های تکثیرکننده نور (PMTs)<sup>۱</sup> به‌عنوان آشکارساز استفاده می‌شود. این آشکارسازها در طیف‌سنج‌های نشر اتمی پلاسمایی متوالی<sup>۲</sup> نیز بسیار رایج هستند. یک PMT شامل کاتدی حساس به نور و چندین آند (دینودها) در یک لوله خلاء شده است. کاتد با ماده‌ای آسان یونیده شونده، مانند آلایژ فلزات قلیایی با آنتیموان، بیسموت و یا نقره پوشش داده شده است. حساسیت طیفی PMT‌ها عمدتاً به مواد پوشش داده شده روی کاتد بستگی دارد.

اگر فوتون برخورد کننده به سطح کاتد انرژی کافی برای یونیده کردن ماده پوشش داده شده روی آن را داشته باشد، با برخورد به آن باعث ساطع شدن الکترون از آن می‌شود. الکترون ساطع شده در اثر اختلاف پتانسیل بین کاتد و دینود اول، شتاب گرفته و به سطح دینود اول برخورد کرده و از آن الکترون ساطع می‌کند. علامت ایجاد شده همان‌طور که در شکل (۱)، نشان داده شده است، تقویت می‌شود. تقویت علامت، به اختلاف پتانسیل بین الکترودها (دینودها) بستگی دارد. تقویت یا بهره (g) آشکارسازی به‌طور نمایی با ولتاژ بین دینودها (U) مطابق معادله زیر، افزایش می‌یابد، که n تعداد دینودها است.

$$g = k U^{0.7n}$$

ولی، افزایش ولتاژ بین دینودها جریان تاریک و نوفه فوتون PMT را نیز افزایش خواهد داد. جریان الکتریکی جاری شده از PMT تحت ولتاژ زیاد، زمانی که هیچ تابش نوری به کاتد برخورد نکرده باشد، جریان تاریک نامیده می‌شود. اگر یک الکترون از کاتد با پتانسیل ۱۰۰V شتاب داده شود، انرژی جنبشی آن حدود  $100 \text{ eV} = 96500 \text{ J.mol}^{-1}$  خواهد شد. این الکترون به اندازه‌ای انرژی دارد که از اولین آند ۲ الی ۱۰ الکترون ثانویه خواهد کند. الکترون‌های ثانویه با پتانسیل دیگری (۱۰۰V) شتاب گرفته و به آند سوم برخورد کرده و الکترون‌های بیشتری کنده می‌شود. یک PMT معمولی با تعداد ده آند، تقویت بسیار زیادی به دست خواهد داد. برای مثال، اگر فوتون وارد شده به کاتد یک الکترون از آن جدا کند و از اولین آند ۵ الکترون ثانویه خارج شود، از دومین آند ۵×۵ و از سومین آند ۵×۵×۵ الکترون خارج خواهد شد و الی آخر. بنابراین، با PMT دارای ۱۰ آند، جریان الکتریکی اولیه با ضریب  $9/8 \times 10^6$  تقویت خواهد شد.



شکل ۱. تقویت علامت در یک آشکارساز PMT.

<sup>۱</sup>. PMTs: Photomultiplier tubes

<sup>۲</sup>. Sequential plasma-AES



اخیراً، انواع متنوعی از آشکارسازهای حالت جامد برای اندازه‌گیری قدرت تابش، به ویژه برای استفاده در دستگاه‌های چندکانالی، بسیار رایج شده‌اند. این وسایل آشکارسازی شامل آرایه‌های دیودنوری<sup>۳</sup>، آشکارسازهای ویدیکون<sup>۴</sup> و انواع متنوعی از وسایل انتقال بار الکترونیک (CTDs)<sup>۵</sup> هستند. وسایل انتقال بار (CTDs) به‌ویژه وقتی که دستگاه‌های چندکانالی در اندازه‌گیری‌های طیف‌سنجی اتمی استفاده می‌شوند، بسیار رایج شده‌اند. با استفاده از یک چندفامساز اشل<sup>۶</sup> و مرتبه‌های بیشتر در اندازه‌گیری‌ها، قدرت تفکیک بسیار خوبی در این دستگاه‌ها حاصل می‌شود. همپوشانی خطوط طیفی مرتبه بیشتر، توسط یک منشور تفکیک شده و طیف دوبعدی حاصل می‌شود، که به‌طور همزمان توسط یک آشکارساز حالت جامد دوبعدی ثبت می‌شود. چندفامسازهای اشل به‌اندازه زیادی در دستگاه‌های ICP-AES استفاده می‌شوند. اخیراً، دستگاه‌های چندکانالی طیف‌سنجی جذب اتمی با کوره گرافیت (GFAAS) نیز به‌طور تجاری در دسترس هستند، که با آن‌ها می‌توان ۶ عنصر را با یک بار اتمسازی اندازه‌گیری کرد.

وسایل انتقال بار به دو گروه وسایل تزریق بار (CID)<sup>۷</sup> و وسایل تزویج بار (CCD)<sup>۸</sup> تقسیم می‌شوند. ساختار پایه این وسایل مشابه نیمه‌هادی‌های اکسید فلز (MOSS)<sup>۹</sup> است. بلور سیلیکون بسیار خالص پوشیده شده با لایه عایق  $\text{SiO}_2$  به‌عنوان سوسترای آشکارساز استفاده می‌شود. وقتی تابش برخورد کننده به سوسترای سیلیکون وارد می‌شود، زوج حفره- الکترون مستقر تشکیل می‌شود (اگر انرژی فوتون برخورد کننده به حد کافی زیاد باشد، پیوندهای سیلیکون- سیلیکون شکسته می‌شوند). ولتاژ مناسبی به لایه هدایت (الکترودهای گیرنده) اعمال شده، که منجر به تشکیل دیوارهای پتانسیل درون سوسترای سیلیکون می‌شود (شکل ۲). بنابراین، جریان الکتریکی ایجاد می‌شود، که با فوتون ورودی به آشکارساز متناسب است. وسایل انتقال بار از اجزای منفردی (پیکسل‌ها) ساخته می‌شوند، که به‌صورت دوبعدی آرایش داده شده‌اند. تعداد گیرنده‌ها به ازای هر پیکسل می‌تواند تغییر کند. عرض هر پیکسل انفرادی حدود  $10 \mu\text{m}$  و ارتفاع آن حدود  $50 \mu\text{m}$  است. تعداد کل پیکسل‌ها می‌تواند بیشتر از یک میلیون باشد.

<sup>3</sup>. Photodiode arrays

<sup>4</sup>. Vidicon detectors

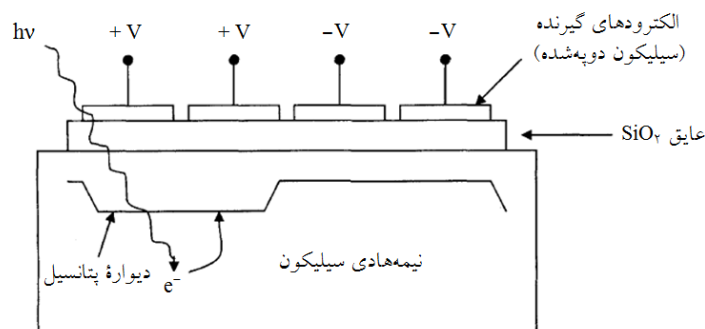
<sup>5</sup>. CTDs: Charge transfer devices

<sup>6</sup>. Echelle polychromator

<sup>7</sup>. CID: Charge injection devices

<sup>8</sup>. CCD: Charge coupled devices

<sup>9</sup>. MOSSs: Metal Oxide Semiconductors



شکل ۲. نمونه‌ای از پیکسل انفرادی یک CTD دارای چهار الکترودهای گیرنده.

برای خواندن داده‌های ذخیره شده از آشکارسازهای CCD و CID، اختلاف اساسی وجود دارد. در CCD بار الکتریکی ذخیره شده به‌طور متوالی، سطر به سطر، خوانده شده و در طی خواندن، بار الکتریکی از بین می‌رود. در CID بار الکتریکی جمع شده به‌طور تصادفی خوانده شده و بار الکتریکی تخریب نمی‌شود. به‌علاوه، امکان قرائت بار الکتریکی جمع شده در طی جمع‌آوری علامت نیز وجود دارد. آشکارسازهای CID نسبت به CCD نوفه بیشتری دارند و باید با استفاده از نیتروژن مایع تا دمای بسیار کمی خنک شوند، تا سطوح قابل‌قبولی از نوفه به‌دست آید. درحالی‌که آشکارسازهای CCD با خنک‌کننده الکتریکی به نام پلتیر<sup>۱۰</sup> تا ۳۰- الی ۴۰°C- خنک می‌شوند. آشکارسازهای CCD نوفه بسیار کمی دارند، لذا، علامت‌های با شدت کم را می‌توان اندازه‌گیری کرد. در واقع، کارایی کوانتومی CCDs در طول‌موج‌های مختلف اغلب بهتر از PMTs است.

پیشرفت‌های اخیر آشکارسازهای انتقال بار (CTDs) آرایه تقسیم‌بندی شده آشکارسازهای CCD است. این وسایل بیشتر از ۲۰۰ زیرآرایه دارند، که هر کدام شامل چند پیکسل است. این زیرآرایه‌ها برای جمع‌آوری داده‌های طیفی از ناحیه‌های مهم طیف نوری دوبعدی حاصل از چندفامساز اشیل مرتب شده‌اند. درحالی‌که در آشکارساز CCD معمولی، قرائت داده‌ها از مقادیر زیاد پیکسل‌ها انجام می‌شود. هر کدام از این زیرآرایه‌ها به‌طور انفرادی خوانده شده و همزمان تصحیح زمینه را می‌توان انجام داد. داده‌های همزمان از خطوط طیفی مختلف عنصر خاص را می‌توان به‌دست آورده و از آن‌ها برای تشخیص مزاحمت‌های طیفی، استفاده از استانداردسازی درونی و غیره، استفاده کرد.

<sup>10</sup>. Peltier