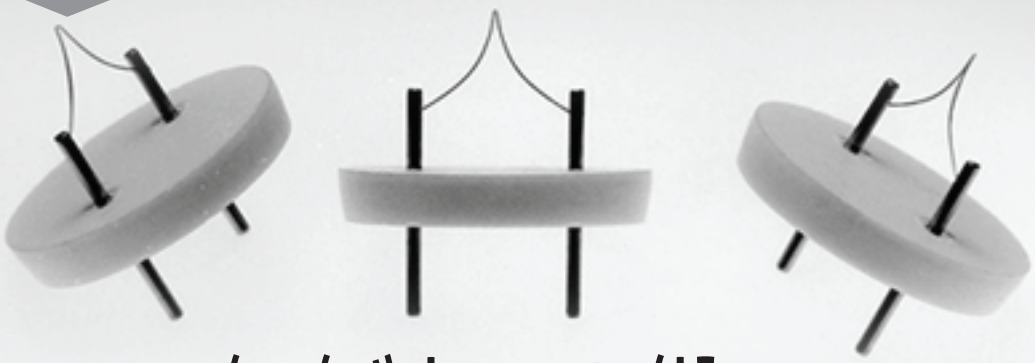
نویسندگان
مریم علیزاده‌ذوالبین[1و4]*
سمانه غفرانی[2و4]
هانی صیاحی[3و4]
Maryamalizadeh1982@gmail.com

واژه‌های کلیدی
فناوری‌نانو، میکروسکوپ الکترونی روبشی، فیلامان.



بررسی تفاوت بین فیلامان‌های مورد استفاده در دستگاه‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی

چکیده

با پیشرفت فناوری‌نانو در چند دهه اخیر، به میکروسکوپ الکترونی روبشی به‌عنوان ابزاری بسیار کارآمد توجه ویژه‌ای شده‌است. به همین دلیل، تحقیقات و تلاش‌های بسیاری برای بهبود نتایج به‌دست آمده و همچنین تسهیل در کار با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی صورت گرفته است. یکی از اقدامات صورت گرفته، تغییر و تصحیح در منبع تولید الکترون‌ها است که با عنوان فیلامان شناخته می‌شود. فیلامان‌ها دارای انواع مختلفی هستند که استفاده از آن‌ها بستگی به نتایجی دارد که از نمونه مورد بررسی، انتظار می‌رود. این مقاله تلاشی است برای آشنایی هر چه بیش‌تر انواع مختلف فیلامان‌های مورد استفاده در دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی. همچنین در این مقاله به مقایسه تفاوت‌ها و موارد کاربرد آن‌ها پرداخته می‌شود.

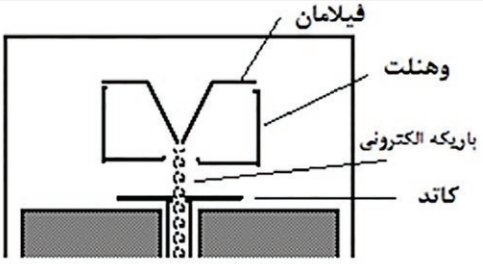
مقدمه

مبنای کار دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی همان‌طور که از نام آن پیداست، روبش نمونه مورد نظر با استفاده از جریان باریکه الکترونی[5] است. سیستم تفنگ الکترونی به‌عنوان منبع تولید الکترون‌ها شناخته می‌شود. نقش تفنگ الکترونی در میکروسکوپ الکترونی روبشی به‌عنوان منبع الکترون، تولید و انتشار الکترون‌ها به‌گونه‌ای است که یک جریان باریکه الکترونی پایدار داشته باشیم که قطر آن به‌اندازه کافی کوچک، انرژی آن قابل تنظیم و پراکندگی انرژی آن کم باشد. سیستم تفنگ الکترونی شامل سه بخش اصلی است:

۱) فیلامان[6] یا کاتد که الکترون‌ها از آن منتشر می‌شوند.

۲) کلاهک نگهدارنده فیلامان که در اصطلاح به آن وهنلت[7] نیز گفته می‌شود که وظیفه آن کنترل میزان الکترون‌های منتشر شده و متمرکز کردن آنها در نقطه مورد نظر است.

۳) صفحه آندی با بار مثبت که فرآیند جذب و شتاب‌دهی الکترون‌های منتشر شده به سمت نمونه را انجام می‌دهد. در شکل (۱) نمای کلی سیستم تفنگ الکترونی میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داده شده‌است [۳و۲و۱].

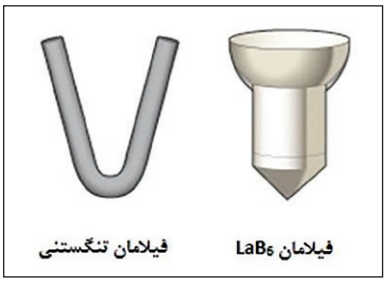


شکل ۱: نمای کلی سیستم تفنگ الکترونی [۳].

انواع تفنگ‌های الکترونی

از تفنگ‌های الکترونی مختلف که دارای قابلیت‌های متفاوت هستند در میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی مورد استفاده قرار می‌گیرد که براساس تفاوت چشم‌گیر باریکه الکترونی آن‌ها، کاربردهای آن‌ها نیز متفاوت است. تفنگ‌های الکترونی را می‌توان به سه دسته تفنگ الکترونی گرمایونی[۸]، تفنگ الکترونی نشر میدان[۹] و تفنگ الکترونی شاتکی[۱۰] تقسیم‌بندی نمود [۳].

۱. تفنگ الکترونی گرمایونی: یکی از متداول‌ترین انواع تفنگ‌های الکترونی، تفنگ الکترونی گرمایونی است که خود شامل فیلامان تنگستن[۱۱] و فیلامان لانتانیوم هگزابوراید (LaB_6)[۱۲] است. در این نوع از تفنگ‌های الکترونی، انتشار الکترون‌ها با استفاده از تهییج حرارتی صورت می‌گیرد که در آن گرم شدن فیلامان باعث اعمال انرژی روی الکترون‌ها و انتشار آن‌ها می‌شود. در فیلامان تنگستنی، الکترون‌ها از نوک یک سیم تنگستنی وی شکل و در فیلامان LaB_6 از یک تک کریستال لانتانیوم هگزابوراید منتشر می‌شوند. در شکل (۲) تصاویر مربوط به این دو نوع فیلامان تنگستنی و LaB_6 آورده شده‌است. لازم به ذکر است که در برخی موارد، به جای LaB_6 از CeB_6 نیز استفاده می‌شود [۳و۴].



شکل۲: تصاویر مربوط به تفنگ‌های الکترونی تنگستنی و LaB_6 [۵].

۲. تفنگ الکترونی نشر میدان: این فیلامان که با عنوان کاتد سرد[۱۳] هم شناخته می‌شود، از یک تک بلور نوک تیز تنگستنی به‌عنوان کاتد تشکیل شده‌است. در این نوع از تفنگ‌های الکترونی، الکترون‌ها با استفاده از اثر تونل‌زنی و با پشت سر گذاشتن سد انرژی یک میدان الکتریکی قوی، منتشر می‌شوند. در شکل (۳) تصویر مربوط به فیلامان نشر میدان نشان داده شده‌است [۳و۴].

شکل۳: تصویر مربوط به تفنگ الکترونی نشر میدان [۵].

۳. تفنگ الکترونی شاتکی: این فیلامان از یک کاتد تک بلور تنگستنی که با لایه نازکی از اکسید زیرکونیوم[۱۴] پوشش داده شده، تشکیل شده‌است. در این روش، اثر شاتکی برای نشر الکترون به کار گرفته می‌شود. بدین صورت که با استفاده از یک میدان الکتریکی قوی، سد انرژی را کم کرده و الکترون‌ها آسان‌تر منتشر می‌شوند. این روش با عنوان تفنگ الکترونی نشر میدان کاتد گرم هم شناخته می‌شود. شکل مربوط به فیلامان این نوع تفنگ الکترونی مشابه فیلامان نشر میدان است [۴].

مقایسه انواع تفنگ‌های الکترونی

به‌طور کلی، تفاوت میان تفنگ‌های الکترونی مختلف، در جدول (۱) آورده شده‌است.

جدول ۱: تفاوت تفنگ‌های الکترونی [۶].

نوع تفنگ الکترونی	گرمایونی		نشر میدان	شاتکی
	تنگستنی	LaB_6		
جنس کاتد	تنگستن	تک کریستال لانتانیوم هگزابوراید	تک کریستال تنگستن	تک کریستال تنگستن پوشش داده شده با اکسید زیرکونیوم
خلأ مورد نیاز (تور[۱۵])	10^{-6}	10^{-7}	10^{-11}	10^{-11}
دمای کاتد (کلوین)	۲۶۰۰	۱۸۰۰	دمای اتاق	۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰
طول عمر کاتد (ساعت)	۴۰-۱۰۰	۲۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰<	۱۰۰۰<
قطر منبع الکترونی	۳۰ میکرومتر	۱۰میکرومتر	۵ نانومتر	۲۰ نانومتر
روشنایی[۱۶] (A/cm۲ ×sr)	۱۰۶	۱۰۷	۱۰۹	۱۰۸
پهنای انرژی (eV)	۲/۰	۱/۵	۰/۲	۰/۳ تا ۱/۰
جریان باریکه الکترونی بیشینه (A)	10^{-7}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-7}

به‌طور کلی، فیلامان تنگستنی به‌عنوان یک فیلامان نسبتا ارزان و با قابلیت کاری در شرایط خلاء پایین (تقریبا ۵-۱۰ تور) است که از مزایای آن به‌شمار می‌رود. از معایب فیلامان‌های تنگستنی می‌توان به طول عمر کوتاه آن‌ها (تقریبا ۱۰۰۰ ساعت، حتی در شرایط خلاء بالا) و نشر الکترون پایین که منجر به پایین آمدن تفکیک‌پذیری نتایج به‌دست آمده می‌شود، اشاره نمود [۳و۴].

از مزایای استفاده از فیلامان LaB_6 می‌توان به نشر بالای الکترونی (تفکیک‌پذیری بهتر) و طول عمر بالاتر نسبت به فیلامان‌های تنگستن (در حدود ۲۰۰۰ ساعت) و از معایب آن به هزینه بالای خود فیلامان و تعمیر و نگهداری آن و شرایط کاری خلاء بالا (تقریبا ۶-۱۰ تور به بالا) اشاره نمود. در این میان، فیلامان LaB_6 نیز خواص مشابهی مانند فیلامان LaB_6 دارد با این تفاوت که عمر مفیدشان بیشتر است [۳و۴].

در فیلامان نشر میدان با توجه به این‌که نشر الکترونی سرد بوده و قطر جریان باریکه الکترونی بسیار کوچک است، تمرکز الکترون‌ها بیش‌تر بوده و کیفیت نتایج به‌دست آمده دارای تفکیک‌پذیری بهتری خواهد بود. به‌علاوه، عمر کارکرد این نوع فیلامان بسیار بالاتر از فیلامان‌های گرمایونی است؛ اما از طرف دیگر برای استفاده از فیلامان نشر میدان، نیازمند شرایط کاری با خلاء بسیار بالا (در حدود ۷-۱۰ تور) بوده و همچنین هزینه تعمیر و نگهداری آن بسیار بالا است. از آنجایی که وجود هر گونه آلودگی روی فیلامان، منجر به کاهش نشر الکترون‌ها، کاهش کیفیت نتایج به‌دست آمده و کاهش عمر فیلامان می‌شود، از یک سیستم پاک‌کننده میکروسکوپی[۱۷]، برای تمیز نگه داشتن مداوم فیلامان استفاده می‌شود. از دیگر معایب قابل توجه فیلامان نشر میدان، کاهش تابش پرتو ایکس است که باعث افزایش زمان مورد نیاز برای انجام آنالیز شیمیایی با استفاده از تابش پرتو ایکس می‌شود [۳و۴].

در فیلامان نوع شاتکی، قطر باریکه الکترونی تشکیل شده بسیار کوچک‌تر از دیگر انواع فیلامان‌ها بوده و میزان تفکیک‌پذیری نتایج عالی است ولی خلأ مورد نیاز بسیار بالاتر و هزینه تعمیر و نگهداری آن مقرون به صرفه نیست [۴].

نتیجه گیری

با توجه به تمامی مطالب ارائه شده، می‌توان این‌گونه اذعان نمود که اگر چه تفکیک‌پذیری نتایج به‌دست آمده از تفنگ‌های الکترونی نشر میدانی و شاتکی بسیار بهتر از تفنگ‌های الکترونی گرمایونی است، اما دارای محدودیت‌هایی شامل ساز و کار پیچیده‌تر، سرویس و نگهداری بسیار پرهزینه و مشکل‌تر هم برای آن‌ها وجود دارد. با توجه به این موضوع، استفاده از تفنگ‌های الکترونی فوق، لزوماً سودمند نیست و فقط برای نمونه‌های خاصی که قابل مشاهده با تفنگ‌های الکترونی گرمایونی نباشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پی‌نوشت

۱. پژوهشگاه مواد و انرژی، کارشناسی ارشد مهندسی مواد متالورژی

۲. پژوهشگاه مواد و انرژی،کارشناسی ارشد مهندسی مواد سرامیک

۳. پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دکترای شیمی فیزیک

۴. عضو کارگروه تخصصی میکروسکوپ الکترونی روبشی شبکه آزمایشگاهی فناوری‌نانو

5. Electron Beam
6. Filament
7. Wehnelt
8. Thermionic Gun,TE
9. Field emission Gun, FEG
10. Schottky emission Gun
11. Tungsten, W
12. Lanthanum Hexaboride, LaB6
13. Cold Cathod
14. Zirconium Oxide, ZrO
15. Torr
16. Brightness
17.Cleaner Microscope

مراجع

[1] JosephI.Goldstein et.al,"Scanning Electron Microscopy & X-Ray Microanalysis" Third Edition, Kluwer academic/Plenum Publishers, NewYork Boston, Dordrecht, London, MoScow, 2003.

[2] Weilie Zhou, "Scanning Microscopy for Nanotechnology Techniques & Applications", University of New Orleans, 2006.

[3] Michael Dunlap, Michael Dunlap, "Introduction to the Scanning Electron Microscope", FACILITY FOR ADVANCED INSTRUMENTATION, U. C. Davis, 1997.

[4] "Scanning Electron Microscope A to Z", JEOL serving advanced technology.

[5]http://edu.nano.ir/index.php?actn=papers_view&id=91.

[6] Invitation to the SEM words, JEOL serving advanced technology.