

## نویسندگان

مریم علیزاده ذوالبین<sup>۴۱\*</sup>سمانه غفرانی<sup>۴۲</sup>هانی صیاحی<sup>۴۳</sup>

Maryamalizadeh1982@gmail.com

## واژه‌های کلیدی

فناوری نانو، میکروسکوپ الکترونی روبشی، فیلامان.

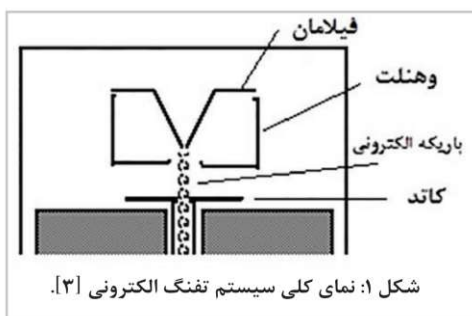


## بررسی تفاوت بین فیلامان‌های مورد استفاده در دستگاه‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی

## چکیده

با پیشرفت فناوری نانو 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 تر انواع مختلف فیلامان‌های مورد استفاده در دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی. همچنین در این مقاله به مقایسه تفاوت‌ها و موارد کاربرد آن‌ها پرداخته می‌شود.

مبنای کار دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی همان‌طور که از نام آن پیداست، روبش نمونه مورد نظر با استفاده از جریان باریکه الکترونی<sup>۵</sup> 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:



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

(۱) فیلامان<sup>۶</sup> یا کاتد که الکترون‌ها از آن منتشر می‌شوند.  
(۲) کلاهدک نگهدارنده فیلامان که در اصطلاح به آن وهنت<sup>۷</sup> 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 [۱ و ۲ و ۳].

سرد<sup>۱۳</sup> م شناخته می‌شود، از یک تک بلور نوک بیز تنگستنی عنوان کاتد تشکیل شده‌است. در این نوع از تفنگ‌های الکترونی، الکترون‌ها با استفاده از اثر تونل‌زنی و با پشت سر گذاشتن سد انرژی در میدان الکتریکی قوی، منتشر می‌شوند. در شکل (۳) تصویر مربوط به فیلامان نشر میدان نشان داده شده‌است [۴ و ۳].



فیلامان نشر میدان

شکل ۳: 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 اسید زینک کونیوم<sup>۱۴</sup> 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.

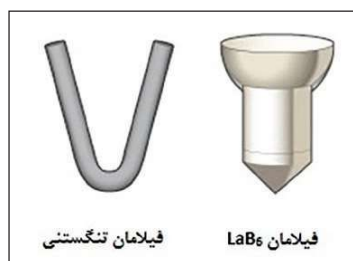
جدول ۱: تفاوت تفنگ‌های الکترونی [۶].

شاتکی	نشر میدان	گرما یونی		نوع تفنگ الکترونی
		LaB <sub>۶</sub>	تنگستنی	
تک کریستال تنگستن پوشش داده شده با اکسید زیرکونیوم	تک کریستال تنگستن	تک کریستال لانتانیم هگزابوراید	تنگستن	جنس کاتد
۱۰-۱۱	۱۰-۱۱	۱۰-۷	۱۰-۶	خلأ مورد نیاز (تور <sup>۱۵</sup> )
۱۸۰۰ تا ۱۷۰۰	دمای اتاق	۱۸۰۰	۲۶۰۰	دمای کاتد (کلوین)
۱۰۰۰ <	۱۰۰۰ <	۲۰۰-۱۰۰۰	۴۰-۱۰۰	طول عمر کاتد (ساعت)
۲۰ نانومتر	۵ نانومتر	۱۰ میکرومتر	۳۰ میکرومتر	قطر منبع الکترونی
۱۰۸	۱۰۹	۱۰۷	۱۰۶	روشنایی (A/cm <sup>۲</sup> × sr) <sup>۱۶</sup>
۱/۰ تا ۰/۳	۰/۲	۱/۵	۲/۰	پهنای انرژی (eV)
۱۰-۷	۱۰-۹	۱۰-۷	۱۰-۷	جریان باریکه الکترونی بیشینه (A)

### انواع تفنگ‌های الکترونی

از تفنگ‌های الکترونی مختلف که دارای قابلیت‌های متفاوت هستند در میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی مورد استفاده قرار می‌گیرد که براساس تفاوت چشم‌یر باریکه الکترونی آن‌ها، کاربردهای آن‌ها نیز متفاوت است. تفنگ‌های الکترونی را می‌توان به سه دسته تفنگ الکترونی گرما یونی<sup>۱۷</sup>، تفنگ الکترونی نشر میدان<sup>۱۸</sup> و تفنگ الکترونی شاتکی<sup>۱۹</sup> تقسیم‌بندی نمود [۳].

۱. تفنگ الکترونی گرما یونی: یکی از متداول‌ترین انواع تفنگ‌های الکترونی، تفنگ الکترونی گرما یونی است که خود شامل فیلامان تنگستن<sup>۱۱</sup> و فیلامان لانتانیم هگزابوراید (LaB<sub>۶</sub>)<sup>۱۲</sup> 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<sub>۶</sub> از یک تک کریستال لانتانیم هگزابوراید منتشر می‌شوند. در شکل (۲) تصاویر مربوط به این دو نوع فیلامان تنگستنی و LaB<sub>۶</sub> آورده شده‌است. لازم به ذکر است که در برخی موارد، به جای LaB<sub>۶</sub> از CeB<sub>۶</sub> نیز استفاده می‌شود [۳ و ۴].



فیلامان تنگستنی

فیلامان LaB<sub>۶</sub>

شکل ۲: تصاویر مربوط به تفنگ‌های الکترونی تنگستنی و LaB<sub>۶</sub> [۵].

۲. تفنگ الکترونی نشر میدان: این فیلامان که با عنوان کاتد

میکروسکوپی<sup>۱۷</sup>، 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 [۳ و ۴]. 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].

با توجه به تمامی مطالب ارائه شده، می‌تواند این گونه اذعان نمود که آنچه تفکیک‌پذیری نتایج به دست 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 گونه‌های خاصی که قابل مشاهده با تفنگ‌های الکترونی گرمایونی نباشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## نتیجه‌گیری

## 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

به‌طور کلی، فیلامان تنگستنی به‌عنوان یک فیلامان نسبتاً ارزان و با قابلیت کاری در شرایط خلأ پایین (تقریباً ۵-۱۰ تور) است که از مزایای آن به‌شمار می‌رود. از معایب فیلامان‌های تنگستنی می‌توان به طول عمر کوتاه آن‌ها (تقریباً ۱۰۰۰ ساعت، حتی در شرایط خلأ بالا) و نشر الکترون پای که منجر به پایین آمدن تفکیک‌پذیری نتایج به‌دست آمده می‌شود، اشاره نمود [۳ و ۴]. از مزایای استفاده از فیلامان LaB 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 بالا (تقریباً ۶-۱۰ تور به بالا) اشاره نمود. در این میان، فیلامان LaB نیز خواصی مانند فیلامان LaB دارد با این تفاوت که عمر مفیدشان بیشتر است [۳ و ۴].

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 خلأ 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

## مراجع

- [1] Joseph I. Goldstein et al., "Scanning Electron Microscopy & X-Ray Microanalysis" Third Edition, Kluwer academic/Plenum Publishers, New York 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](http://edu.nano.ir/index.php?actn=papers_view&id=91).
- [6] Invitation to the SEM words, JEOL serving advanced technology.