

به‌کارگیری ترکیب روش‌های STIM و micro-PIXE به منظور مطالعه نمونه‌های زیست‌شناختی

نیکبخت، طاهره* - یدالله‌زاده، بهزاد

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک و شتابگرها

چکیده:

توانمندی روش‌های آنالیز با باریکه یونی STIM و micro-PIXE در زمینه مطالعه نمونه‌های زیست‌شناختی نشان داده شده است. ترکیب این دو روش قادر به ارائه اطلاعات مربوط به ترکیب عنصری و توزیع جرمی نمونه است. علاوه بر اطلاعات کمی مربوط به ترکیب عنصری نمونه، امکان تهیه نقشه‌های توزیع عناصر و چگالی جرمی نمونه جهت مشخص نمودن ساختار و بافت آن با استفاده از طیف‌های پرتو ایکس مشخصه و افت انرژی یون‌ها در نمونه وجود دارد. نمونه مورد مطالعه بال یک حشره است ساختار بال حشره و وجود عناصری چون Si، به عنوان عنصر اصلی موجود در ماتریس نمونه، و همچنین Al و Cl، نشان دهنده قابلیت آن در به‌کارگیری به عنوان یک سلول خورشیدی طبیعی است. نتایج بدست آمده در این کار تحقیقاتی نشان می‌دهد که ترکیب این دو روش ابزاری قدرتمند جهت مطالعه جزئیات ساختار نمونه‌های زیست‌شناختی فراهم می‌آورد.

کلمات کلیدی: STIM، micro-PIXE، تصویربرداری، باریکه یونی

Application of the combination of STIM and micro-PIXE techniques for the investigation of biological samples

Tahereh Nikbakht*, Behzad Yadollahzadeh

Atomic Energy Organization, Nuclear Science and Technology Research Institute, Physics and
Accelerators Research School

Abstract

The capability of the STIM and micro-PIXE techniques for the investigation of biological specimens is confirmed. The combination of these techniques provides elemental and mass density spectra of the samples from which quantitative information and also elemental distribution and mass density maps can be extracted to reveal the structure and texture of the samples. An insect wing is studied in the current work. The structure of the wing and the existence of elements such as Si, as the main element of the matrix, Al and Cl, indicate the possibility of its application as a natural solar cell. The results approve that the combination of the applied techniques is a powerful tool for detailed investigation of the biological samples.

Keywords: STIM, micro-PIXE, Imaging, Ion beam

Email: taherehnikbakht@gmail.com

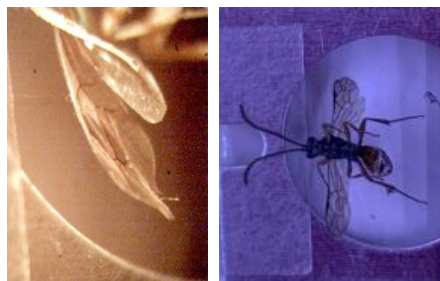
۱. مقدمه

روش آنالیز^۱ STIM ابزاری جهت تصویربرداری از نمونه‌های نازک است که اساس آن مبتنی بر افت انرژی یون‌های پر انرژی در عبور از نمونه با ساختار معمولاً نایکنواخت است [۱-۳]. بدین ترتیب که یون‌های اسکن کننده سطح نمونه در عبور از نواحی ضخیم‌تر و یا حاوی عناصر با اعداد جرمی بزرگتر، دستخوش افت انرژی بیشتری می‌شوند. بنابراین طیف انرژی یون‌های پراکنده شده از نمونه می‌تواند حاوی اطلاعات مفیدی در مورد توزیع چگالی جرمی نمونه باشند. روش آنالیز STIM با توجه به سطح مقطع بالای واکنش و بنابراین عدم نیاز به جریان‌های زیاد باریکه فرودی، غیر مخرب و سریع است. ولی با توجه به این که طیف STIM حاوی اطلاعات مربوط به جرم و ضخامت نمونه است، برای تفسیر نتایج حاصل از آن لازم است از روش‌های آنالیز با باریکه یونی مکملی مانند RBS و^۲ micro-PIXE استفاده شود. روش آنالیز micro-PIXE قادر به ارائه اطلاعات عنصری و نقشه توزیع عناصر نمونه با دقت چند ppm است. این روش غیر مخرب قادر به آشکارسازی عناصر مختلف موجود در نمونه‌ها از Na تا U می‌باشد [۴].

در این کار تحقیقاتی از ترکیب روش‌های STIM و micro-PIXE به منظور مطالعه ساختار بال یک حشره استفاده شده است. نقشه‌های توزیع چگالی جرمی و عنصری نمونه و همچنین اطلاعات مربوط به ترکیب عنصری نمونه ارائه شده است. ترکیب عناصر موجود در نمونه و ساختار آن نشانگر توانایی جذب انرژی خورشیدی توسط بال حشره، به عنوان یک سلول خورشیدی طبیعی، است. لازم به ذکر است که مطالعات اخیر در مورد بال حشره‌ها، به ویژه بال‌های رنگین انواع پروانه‌ها، بیانگر توانمندی آن‌ها در جذب انرژی خورشید و تبدیل آن به انرژی مورد نیاز حشره، همانند یک سلول خورشیدی طبیعی است. ساختارهای ظریف بال حشرات امکان جذب مقادیر زیادی از انرژی خورشیدی در بازه طول موجی وسیع را فراهم می‌کنند و با توجه به سطح ناصافی که دارند، مانع از بازتاب و بنابراین اتلاف آن می‌شوند [۵،۶].

۲. روش کار

برای انجام اندازه‌گیری‌ها از تجهیزات خط میکروباریکه آزمایشگاه واندوگراف استفاده شد. باریکه پروتون با انرژی MeV ۲/۲، جریان حدود ۱۰ pA و ابعاد $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ جهت رویش سطحی برابر با $2/5 \times 2/5 \text{ mm}^2$ از نمونه استفاده شد. نمونه مورد آزمایش در این کار تحقیقاتی بال یک حشره است. در شکل ۱ تصاویر حشره مورد نظر روی نگهدارنده نمونه (الف) و همچنین بال حشره (ب) حین انجام آزمایش که توسط میکروسکوپ اپتیکی محفظه برهم‌کنش خلاء ثبت شده، نشان داده شده است.



(ب)

(الف)

شکل ۱. تصاویر مربوط به حشره نصب شده بر نگهدارنده نمونه (الف) و بال حشره حین انجام آزمایش (ب).

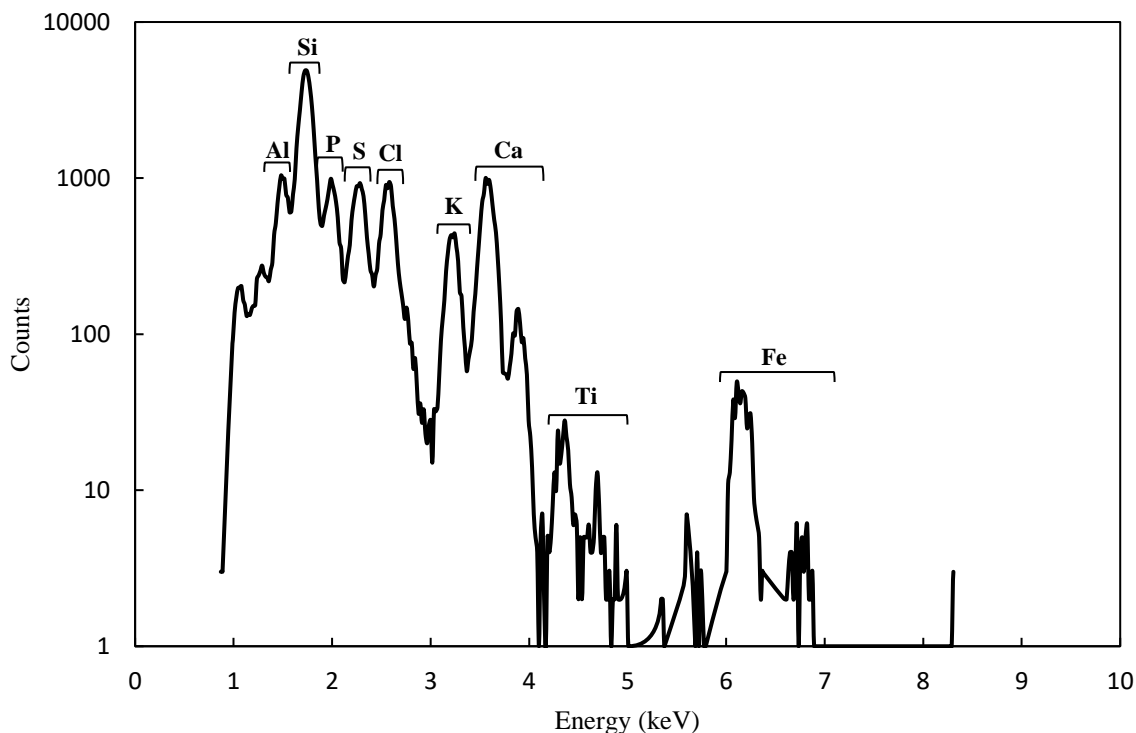
^۱ . Scanning Transmission Ion Microscopy

^۲ . Particle Induced X-ray Emission

از یک آشکارساز سد سطحی به فاصله ۴ cm از نمونه که در زاویه رو به جلو ۳۰ درجه نسبت به راستای باریکه فرودی قرار گرفت جهت ثبت طیف STIM نمونه به صورت لیست مد استفاده شد. یون‌های فرودی پراکنده شده در عبور از نمونه پس از دست دادن مقداری از انرژی خود در نمونه، توسط آشکارساز ثبت شدند. از آشکارساز Si(Li) واقع در زاویه رو به عقب ۴۵ درجه نسبت به راستای باریکه فرودی و به فاصله ۶ cm از نمونه، به منظور ثبت داده‌های micro-PIXE استفاده شد. نرم‌افزارهای OM_DAQ و PyMCA [۷] جهت تحلیل داده‌ها و استخراج تصاویر STIM و micro-PIXE نمونه به کار گرفته شدند. همچنین نرم‌افزارهای GUPIXWIN و SIMNRA به ترتیب جهت بررسی طیف‌های micro-PIXE و STIM استفاده شدند.

۳. نتایج

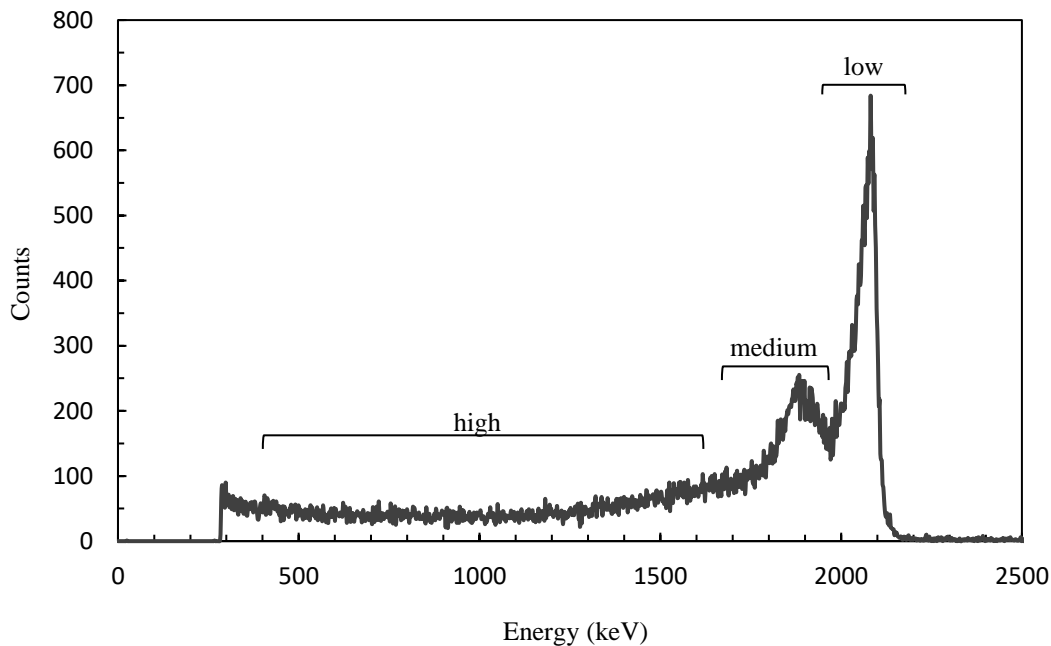
در شکل ۲ طیف micro-PIXE نمونه بال حشره ارائه شده است که در آن مکان قله‌های عناصر اصلی تشکیل دهنده نمونه مشخص شده است. مشاهده می‌شود که علاوه بر عناصر متداول تشکیل دهنده موجودات زنده مانند P، S و Ca، عناصر دیگری چون Si و Al نیز در بال حشره وجود دارند. در واقع بیشترین غلظت عناصر قابل آشکارسازی توسط روش micro-PIXE مربوط به Si است. لازم به ذکر است که برخلاف تنه نسبتاً نرم بدن حشره، بال حشره با توجه به ساختار سختی که دارد، همانند اجزایی چون مو و ناخن، حاوی غلظت‌های قابل توجهی از عناصر غیرآلی است که به سادگی با استفاده از روش micro-PIXE قابل آشکارسازی هستند. در جدول ۱ غلظت نسبی عناصر آشکارسازی شده بال حشره نشان داده شده است.



شکل ۲. طیف micro-PIXE مربوط به بال حشره. مکان قله‌های عناصر اصلی تشکیل دهنده نمونه در شکل نشان داده شده است.

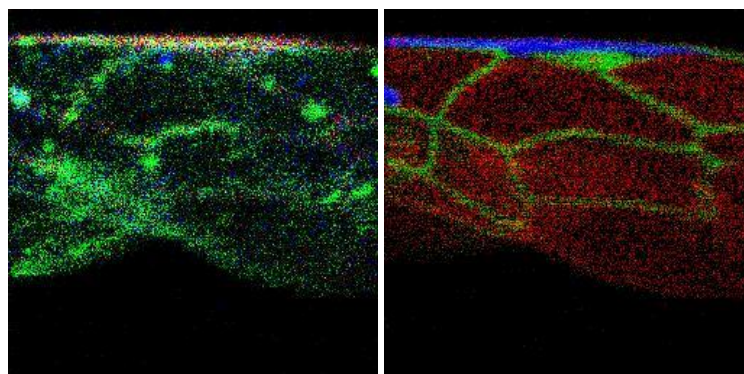
جدول ۱. غلظت نسبی عناصر قابل آشکارسازی بال حشره توسط روش micro-PIXE.

Element	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
Concentration (wt%)	9.84	43.34	10.02	9.71	9.86	4.66	10.91	0.26	1.40



شکل ۳. طیف STIM مربوط به بال حشره. محدوده‌های مربوط به افت انرژی کم (low)، متوسط (medium) و زیاد (high) در طیف نشان داده شده است.

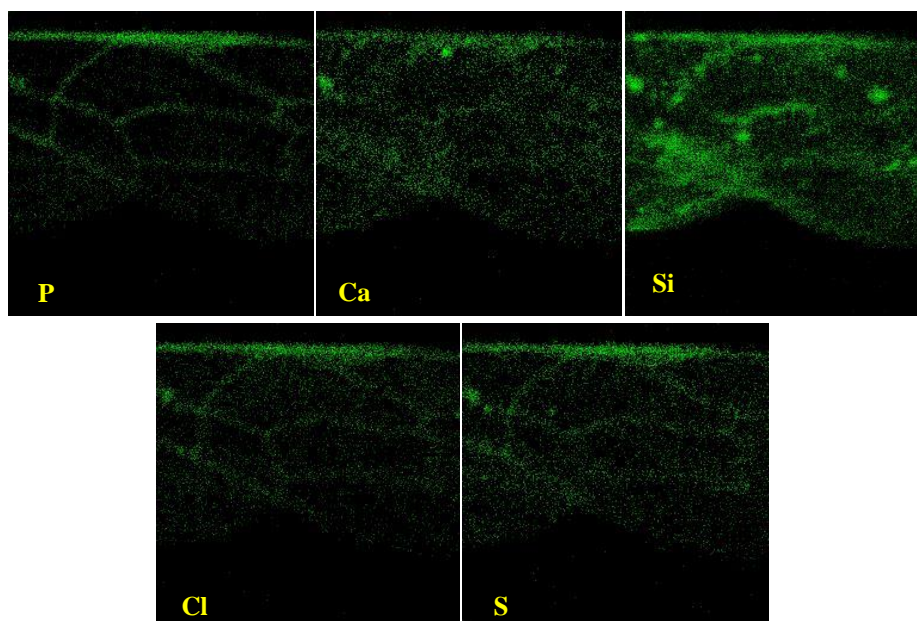
در شکل ۳ طیف STIM بال حشره نشان داده شده است. سه ناحیه افت انرژی مجزای قابل تشخیص در طیف با کمترین افت انرژی (low)، افت انرژی متوسط (medium) و بیشترین افت انرژی (high) در طیف مشخص شده‌اند. در شکل ۴ (الف) ترکیب نقشه‌های STIM این سه ناحیه با رنگ‌های مختلف نمایش داده شده است. همچنین نقشه ترکیب عناصر Si، P و Ca نیز در شکل ۴ (ب) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که رگه‌های موجود در بال حشره که در شکل (۱) (ب) نیز قابل مشاهده هستند، در محدوده نواحی با افت انرژی متوسط قرار می‌گیرند. با توجه به شکل ۵ که در آن نقشه‌های توزیع عناصر اصلی موجود در بال حشره نشان داده شده است، مقدار اغلب عناصر موجود در بال حشره در قسمت رگه‌های آن به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل ۴ (الف) مشاهده می‌شود که یون‌ها در رگه اصلی بال حشره که در حاشیه آن قرار دارد، متحمل بیشترین افت انرژی می‌شوند و بر اساس نقشه‌های توزیع عنصری نمونه، غلظت عناصر در این ناحیه به بیشینه مقدار خود می‌رسد. قسمت‌های شفاف بال حشره (مطابق شکل ۱) نیز نواحی با کمترین افت انرژی را تشکیل می‌دهند که با توجه به قله تیز حاصل از این ناحیه در طیف STIM، به نظر می‌رسد ضخامت این ناحیه نسبت به سایر نواحی، یکنواخت‌تر است.



(ب)

(الف)

شکل ۴. تصویر STIM بال حشره شامل ترکیب نقشه‌های توزیع چگالی مربوط به نواحی با افت انرژی کم (به رنگ قرمز)، افت انرژی متوسط (به رنگ سبز) و افت انرژی زیاد (به رنگ آبی) (الف). تصویر micro-PIXE از ناحیه متناظر بال حشره، شامل ترکیب نقشه‌های توزیع عنصری عناصر P (به رنگ قرمز)، Si (به رنگ سبز) و Ca (به رنگ آبی).



شکل ۵. نقشه‌های توزیع عنصری عناصر با بیشترین غلظت که توسط روش micro-PIXE اندازه‌گیری شده‌اند.

با توجه به ساختار بال حشره و حضور Si به عنوان عنصر اصلی تشکیل دهنده ماتریس نمونه در کنار عناصری چون Al و Cl، به نظر می‌رسد بال این حشره می‌تواند به خوبی به عنوان یک سلول خورشیدی طبیعی، جهت تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز حشره از طریق نور خورشید، عمل کند [۵،۶].

۴. نتیجه‌گیری

روش آنالیز STIM در ترکیب با سایر روش‌های آنالیز با باریکه یونی قادر به ارائه اطلاعات ساختاری نمونه با دقت زیاد می‌باشد. در این کار تحقیقاتی ساختار بال یک حشره با استفاده از ترکیب روش‌های STIM و micro-PIXE مورد مطالعه قرار گرفت. نقشه‌های توزیع چگالی و عنصری نمونه که حاوی اطلاعات ساختاری نمونه هستند، از طیف‌های افت انرژی ذرات پراکنده شده و پرتو ایکس مشخصه نمونه، استخراج شدند. نتایج حاصل از این کار تحقیقاتی بیانگر کارایی روش آنالیز STIM در مطالعه نمونه‌های زیست‌شناختی و همچنین سایر نمونه‌های نازک، مانند قطعات الکترونیکی، است. هر چند روش آنالیز STIM تاکنون جهت انجام تحقیقات انگشت شماری در آزمایشگاه واندوگراف به کار گرفته شده است، انتظار می‌رود این روش در کنار سایر روش‌های آنالیز با باریکه یونی به طور متداول در آزمایشگاه مورد استفاده قرار گیرد.

۵. مراجع

1. R. Minqin et al., "Nano-imaging of single cells using STIM", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, 260 (2007) 124-129.
2. J. Pallon et al., "An off-axis STIM procedure for precise mass determination and imaging", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, 219-220 (2004) 988-993.
3. T. Satoh et al., "Correction of X-ray detection yield in micro-PIXE analysis according to sample thickness variation measured by STIM", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, 249 (2006) 234-237.
4. T. Nikbakht, "Investigation of turquoise gemstone using micro-PIXE imaging technique", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, 484 (2020) 5-11.
5. R.H. Siddique et al., "Bioinspired phase-separated disordered nanostructures for thin photovoltaic absorbers", Sci. Adv., 3 (2017) e1700232.
6. M. Ragaei et al., "Insect wings as a solar cell system", IJOSR, 1 (2013) 10-26.
7. T. Nikbakht et al., "An efficient approach to integrated MeV ion imaging", Ultramicroscopy., 186 (2018) 112-119.