



## Effect of Process Parameters on Microstructure and Efficiency of Tubular Alumina Catalyst Prepared by Doped Anodizing Method with Platinum Particles

Shahab Khameneh Asl<sup>\*1</sup>, Reza Golzarian<sup>2</sup>, Behnam Salahimehr<sup>3</sup>, Ali Fardi<sup>4</sup>

1,\*. Materials Engineering Department, Mechanical Eng. Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran, sh.kh.asl@tabrizu.ac.ir, Corresponding author

2. Space Engineers Research Institute,

3. Engineering Department, Mechanical Eng. Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran, b\_salahimehr96@ms.tabrizu.ac.ir

4. Faculty of Engineering, Department of Materials Engineering, Bonab University, Bonab, Iran, ali.fardi@bonabu.ac.ir

Available in:  
Journal.isrc.ac.ir

Journal of  
Space Science, Technology &  
Applications (Persian)

Vol. 2, No. 1, pp.: 109-117  
2022

DOI:

10.22034/JSSTA.2022.327760.1065

### Article Info

Received: 2021-9-20

Accepted: 2022-2-2

### Keywords

Anodizing, Alumina,  
Alatinum, Thermal knife,  
Thermal element, Catalyst

### How to Cite this article

Shahab Khameneh Asl, Reza Golzarian, Behnam Salahimehr, Ali Fardi, "Effect of Process Parameters on Microstructure and Efficiency of Tubular Alumina Catalyst Prepared by Doped Anodizing Method with Platinum Particles", *Journal of Space Science, Technology and Applications*, vol 2 (1), p.: 109-117, 2022.

### Abstract

The use of thermal knives as holding mechanism and non-explosive release in the field of space mechanisms has always been considered. In these mechanisms, the use of materials with high melting points and low weight, as well as the possibility of production on a small scale is a major challenge. Therefore, the use of platinum / alumina catalysts can be a good solution to the leading problems in this field.

The purpose of this paper is to prepare a high specific surface alumina base using the process of anodizing aluminum and coating it with platinum particles. Thus, the present study consists of two stages; In the first stage, aluminum is anodized in oxalic acid solution and its parameters are optimized in order to achieve aluminum nanotubes with various diameters and wall thicknesses, as well as the applied voltage, electrolyte concentration and anodizing conditions. In the next step, platinum nanoparticles were precipitated in different amounts using metal salt and suitable solvent using electrochemical method. The results showed that the obtained nanowires have a diameter of about 200 nm and a length of several micrometers. All samples were mechanically polished and it was shown that the aluminum anode oxide membranes were completely filled with a combination of metals. Also, the performed analyzes showed that the obtained nanowires are stable inside the membrane.



## مقاله پژوهشی

# اثر پارامترهای فرایندی بر ریزساختار و بازدهی کاتالیست آلومینای لوله‌ای تهیه شده به روش اندایزینگ دوپ شده با ذرات پلاتین

شهاب خامنه اصل<sup>۱\*</sup>، رضا گلزاریان<sup>۲</sup>، بهنام صلاحی مهر<sup>۳</sup>، علی فردی ایلخچی<sup>۴</sup>

دسترس پذیر در نشانی:  
Journal.isrc.ac.ir

دو فصلنامه  
علوم، فناوری و  
کاربردهای فضای

سال دوم، شماره ۱، صفحه ۱۱۷-۱۰۹  
بهار و تابستان ۱۴۰۱

DOI:  
10.22034/JSSTA.2022.327760.1065

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵

واژه‌های کلیدی

آندایزینگ، آلومینا، پلاتین، چاقوی  
حرارتی، المان حرارتی، کاتالیست

نحوه استناد به این مقاله

شهاب خامنه اصل، رضا گلزاریان، بهنام صلاحی مهر، علی فردی ایلخچی، "اثر پارامترهای فرایندی بر ریزساختار و بازدهی کاتالیست آلومینای لوله‌ای تهیه شده به روش اندایزینگ دوپ شده با ذرات پلاتین"، دو فصلنامه علوم، فناوری و کاربردهای فضای، جلد دوم، شماره اول، صفحات ۱۰۹-۱۱۷، ۱۴۰۱.

## چکیده

استفاده از چاقوی حرارتی به عنوان یکی از مکانیزم‌های نگهدارنده و رهایش غیرانفجاری در حوزه مکانیزم‌های فضای همواره مورد توجه بوده است. در این مکانیزم‌ها، استفاده از مواد با نقطه ذوب بالا و وزن پایین و درعین حال امکان تولید در مقیاس‌های کوچک یک چالش اساسی محسوب می‌شود. از این رو، استفاده از کاتالیست‌های پلاتین/آلومینا می‌تواند راه‌گشای مناسبی برای مشکلات پیش‌رو در این زمینه باشند. هدف از این مقاله، تهیه زیرپایه آلومینایی با سطح ویژه بالا با استفاده از فرایند آندایزینگ آلومینیوم و پوشش‌دهی آن با ذرات پلاتین است. بدین ترتیب، پژوهش حاضر شامل دو مرحله است؛ در مرحله اول، آندایزینگ آلومینیوم در محلول اسید اگزالیک انجام شده و بهینه‌سازی پارامترهای آن به منظور رسیدن به نانولوله‌های آلومینایی با قطر و ضخامت دیواره متنوع صورت پذیرفته و نیز بهینه‌سازی ولتاژ اعمالی، غلظت الکترولیت و شرایط آندایزینگ انجام شده است. بررسی در این مرحله با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شده و داده‌های مربوط به سطح ویژه استخراج شده است. در مرحله بعدی، نانوذرات پلاتین در مقادیر مختلف با استفاده از نمک فلزی و حلال مناسب با استفاده از روش الکتروشیمی رسوب‌گذاری شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نانوسیم‌های به‌دست آمده دارای قطر حدود ۲۰۰ نانومتر و طول چند میکرومتر هستند. تمام نمونه‌ها پولیش مکانیکی شده و نشان داده شد که غشاهای اکسید آندی آلومینیوم به‌طور کامل با ترکیب فلزات پر شده است. هم‌چنین، آنالیزهای انجام شده نشان داد که نانوسیم‌های به‌دست آمده در داخل غشاء ماندگار هستند.

## ۱- مقدمه

ساختار لایه اکسید آلومینیوم خود نظم یافته که تحت اندایز آلومینیوم تشکیل شده است را می‌توان به شکل ارائه‌ای از سلول‌های شش‌وجهی که به صورت فشرده در کنار هم قرار گرفته‌اند توصیف کرد که هر حفره در مرکز یک سلول قرار گرفته است. لایه اکسیدی ایجاد شده از دو بخش لایه مانع و لایه متخلخل تشکیل یافته است. ضخامت لایه مانع را تنها می‌توان توسط ولتاژ اندایزینگ کنترل کرد در حالی که لایه متخلخل را می‌توان با استفاده از دانسیته جریان و زمان اندایزینگ تنظیم نمود. بر روی سطح زیر لایه آلومینیومی لایه مانع قرار دارد و بر روی آن حفرات رو باز منظم به شکل کانال‌های تقریباً موازی وجود دارد که درون سلول‌های شش‌وجهی رشد می‌کنند [۱، ۲]. علت آن که الگوی اکسید آلومینیوم منظم توجه بسیاری را به خود جلب کرده است، ماهیت ویژه‌ی لایه‌ی متخلخل اکسید آلومینیوم است که تحت شرایط خاصی تشکیل شده و کاربردهای فراوانی در فناوری نانو داشته و برای تولید نانولوله‌ها و نانوسیم‌ها به علت پایداری حرارتی، استحکام مکانیکی خوب و قابلیت کنترل ابعاد حفره حتماً مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳، ۴].

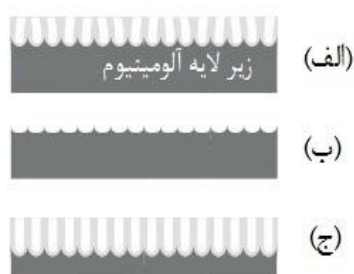
سیستم کاتالیزوری بسیار کارآمد مانند سلول سوختی، فوتوکاتالیز، یا حسگرهای گاز اغلب نیاز به کاتالیزورهای فلز نجیب دارند که در ساختارهای متخلخل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این به خاطر ویژگی نسبت بالای سطح به حجم است که در بالا بردن سطح تماس در واکنش کاتالیز مفید است. بنابراین، بسترهای متخلخل حاوی ساختار متخلخل، نانو ساختارها، نانو کانال‌ها برای حسگرهای گاز، سلول‌های سوختی، فوتوکاتالیست‌ها استفاده می‌شوند [۵].

اکسید آندی آلومینیوم (AAO) به عنوان یک الگو برای ایجاد نانوغشاهای کاربردی با استفاده از روش‌هایی مانند رسوب‌گذاری الکترولیز، سل ژل و رسوب بخار شیمیایی استفاده

می‌شود. برخلاف تکنیک‌های رسوب‌گذاری فیزیکی و شیمیایی بخار که فیلم‌های نازک در بالای بستر رسوب می‌کنند [۶]، نانوسیم‌ها را می‌توان از طریق رسوب الکتروشیمیایی فلز درون نانولوله‌ها در الگوهای مختلف تهیه کرد [۷]. به طوری که الگو و همکارانش در یک مقاله مروری به توضیح و تشریح فرایندهای ساخت الگوهای اکسید آلومینیوم اندایز شده و امکان‌سنجی محل مصرف آنها پرداخته‌اند لیکن از این بستر به منظور ساخت قطعات حجمی با آرایه‌ای جهت‌دار استفاده نکرده‌اند [۸]. هم‌چنین دکتر سلطانی و همکارانش در دانشگاه صنعتی اصفهان نیز از آلومینای اندایز شده برای کاربردهای مغناطیسی استفاده کرده‌اند [۹]. دستاوردهای مستخرج از پژوهش مذکور متفاوت از هدف این مقاله یعنی ساخت آرایه‌ای از پلاتین بر بستر سرامیکی با استفاده از روش الکتروشیمیایی است. در این نوشتار، یک روش ساده برای سنتز پلاتین با رسوب الکتروشیمیایی ارائه شده است.

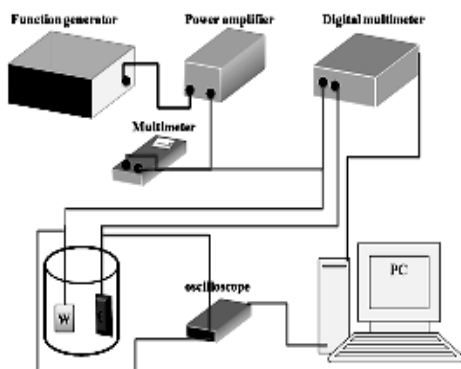
## ۲- تشریح مسئله

ابتدا فویل آلومینیوم با خلوص بالا (۹۹/۹۹٪) در سایز  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  و به ضخامت  $0.3$  میلی‌متر در دمای  $450$  درجه سانتی‌گراد به منظور حذف تنش‌های مکانیکی به مدت  $4$  ساعت تحت عملیات آنیل قرار گرفت. نمونه‌ها به مدت  $1$  دقیقه در هیدروکسید پتاسیم (KOH) برای عملیات از بین بردن ناخالصی‌ها و  $1$  دقیقه نیز در اسید نیتریک ( $\text{HNO}_3$ ) به منظور چربی‌زدایی قرار گرفتند. سپس، الکتروپولیش در محلول اسید پرکلریک ( $\text{HClO}_4$ ) و اتانول ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) به نسبت حجمی  $1:4$  به منظور حذف ناصافی‌های سطحی و تحت اعمال ولتاژ  $7$  و  $20$  در دمای  $4-0$  درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. زمان الکتروپولیش با توجه به ناصافی‌های سطحی فویل آلومینیوم متفاوت است. اندایزینگ در ولتاژ ثابت  $7$  V در محلول اسیدگزالیک  $0.3$  M به مدت  $1$  ساعت در دماهای  $10.0$  و  $15$  درجه سانتی‌گراد صورت گرفت [۱۰، ۱۱].



شکل ۲. مراحل فرایند ساخت الگوی اکسید آندی آلومینیوم

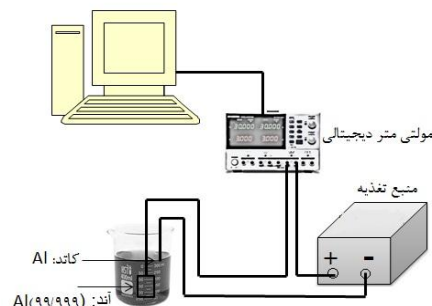
سپس، نمونه در محلول ۵% اسید فسفریک به مدت ۲۰ دقیقه و دمای  $35^{\circ}\text{C}$  قرار گرفته شد تا عملیات باز کردن حفرات صورت پذیرد. همچنین، رسوبدهی با استفاده از آب دیونیزه و  $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  با غلظت ۱۰ mM/Lit در  $\text{pH}=2/5$  تهیه شده در نهایت به منظور نفوذ محلول به حفرات تمپلیت اکسید آلومینیوم، نمونه ۳ دقیقه داخل حمام رسوبدهی تحت آلتراسونیک قرار گرفت. کاتد مورد استفاده نیز از جنس گرافیت انتخاب شد [۱۲-۱۵].



شکل ۳. شماتیکی از تجهیزات استفاده شده در رسوبدهی الکتروشیمیایی با جریان متناوب

ساختار و مورفولوژی سطح الگو و نانوسیمها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی از نوع گسیل میدانی ( $\text{FESEM}^1$ ) مورد بررسی قرار گرفت.

مورفولوژی الگوی اکسید آندی آلومینیوم در دماهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتیگراد با میکروسکوپ الکترونی گسیل میدان مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ طرحواره‌ای از تجهیزات مورد استفاده در مرحله الکتروپولیش و آندایز را نشان می‌دهد. دما در حین فرایند آندایزینگ با استفاده از میرد آبی مجهز به ترموستات ثابت نگاه داشته شد.

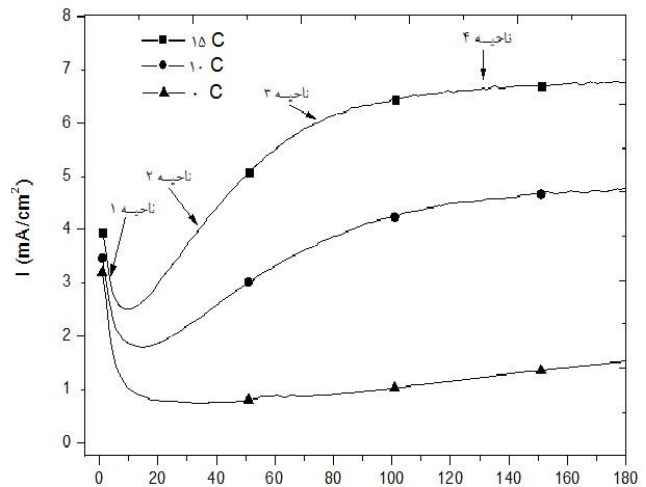


شکل ۱. تجهیزات مورد استفاده در مراحل الکتروپولیش و آندایزینگ

پس از ۱ ساعت آندایزینگ، کاهش ولتاژ به منظور کاهش ضخامت لایه اکسیدی مانع تا ولتاژ ۸ ولت به صورت پله‌ای صورت گرفت؛ بدین صورت که کاهش ولتاژ از ۴۰ به ۲۰ ولت با پله‌های ۲ ولتی، از ۲۰ به ۱۲ با پله‌های ۱ ولتی و از ۱۲ به ۸ با پله‌های ۰٫۵ ولتی انجام گرفت و سپس در ولتاژ ۸ ولت به مدت ۵ دقیقه تحت آندایزینگ انجام شد. در تمام مراحل الکتروپولیش و آندایزینگ محلول با استفاده از همزن مغناطیسی دارای تلاطم یکنواخت بود. طرحواره‌ای از فرایند ساخت الگوی اکسید آندی آلومینیوم در شکل ۲ آورده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، تصاویر شماتیک (الف) تا (ج) تشکیل نانولوله‌های آلومینایی را نشان می‌دهند. طی این فرایند، اکسیداسیون از سطح آغاز شده و با گذشت زمان در عمق افزایش پیدا کرده است [۴-۷].

### ۳- نتایج و بحث

شکل ۴، منحنی دانسیته جریان برحسب زمان ( $I_t$ ) در شروع اندایزینگ را برای سه دمای مختلف ۱۰، ۱۵ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد ولتاژ ثابت ۴۰V نشان می‌دهد. در مرحله ابتدایی اندایزینگ، اکسیداسیون سطحی آلومینیوم به مدت تقریباً ۱۰ ثانیه اتفاق می‌افتد (شکل ۴، ناحیه ۲: تشکیل لایه مانع) و همان‌گونه که در شکل ۴ نیز مشخص است، باعث کاهش شدید دانسیته جریان در هر سه دما شده است [۶]. این موضوع نشان‌دهنده این واقعیت است که رفتار رشد در حالت ابتدایی اندایزینگ در هر سه دما مشابه است. سپس تشکیل حفرات به واسطه فرایند نازک شدن لایه مانع آغاز می‌شود (شکل ۴، ناحیه ۱). هنگامی که دانسیته جریان به مقدار ماکزیمم رسید (شکل ۴، ناحیه ۳)، حفرات پایدار شده و لایه مانع با ضخامت دیواره ثابت شکل می‌گیرد [۵-۱۱، ۱۶-۱۸]. با افزایش دمای اندایزینگ، ماکزیمم دانسیته جریان افزایش یافته و در نهایت، دانسیته جریان بعد از گذشت مدت‌زمان معینی به دلیل برابری سرعت تشکیل اکسید آندی آلومینیوم و انحلال آن به مقدار ثابتی رسیده است (شکل ۴، ناحیه ۴).

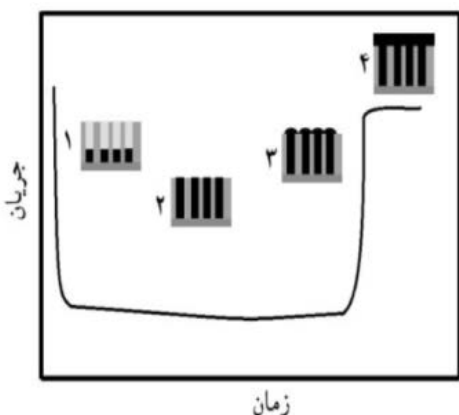


شکل ۴. نمودار دانسیته جریان برحسب زمان برای الگوهای اندایز شده تحت ولتاژ اعمالی ۴۰ ولت و سه دمای صفر، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد

شکل ۵، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی الگوهای اکسید آندی آلومینیوم را در سه دمای ۱۰، ۱۵ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش دما از ۰ به ۱۰ درجه سانتی‌گراد، قطر متوسط حفرات الگوی اکسید آندی آلومینیوم از حدود ۳۹ nm به ۳۱ nm کاهش یافته است. این در حالی است که با تغییر دمای اندایزینگ از ۱۰ به ۱۵ درجه سانتی‌گراد، قطر متوسط حفرات الگوی اکسید آندی آلومینیوم افزایش یافته است. قطر متوسط حفرات الگوی اکسید آندی آلومینیوم در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، حدود ۴۱ nm است که این نتایج با مطالعات انجام‌گرفته در گذشته هم‌خوانی خوبی دارد [۱-۷]. علت افزایش قطر حفرات الگوی اکسید آندی آلومینیوم ناشی از انحلال شیمیایی سریع‌تر اکسید نزدیک سطح آلومینیوم در دماهای بالای اندایزینگ است. همان‌طور که از تصاویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی مشاهده می‌شود، حفرات الگوی اکسید آندی آلومینیوم در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد (شکل ۵، تصویر ج)، دارای نظم بیشتری نسبت به حفرات الگوی اکسید آندی آلومینیوم در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد (شکل ۵، تصویر الف) است. الگوی اندایز شده در دمای صفر درجه سانتی‌گراد دارای عیوبی مانند عیوب ساختاری (پیکان‌های نشان داده‌شده بر روی شکل ۵، تصویر الف) بیشتری نسبت به الگوهای اندایز شده در دو دمای دیگر است. این نکته را باید مجدد متذکر شد که ثابت بودن دانسیته جریان عامل مهمی بر روی خودنظم‌دهی حفرات است. دانسیته حفرات الگوی اکسید آندی آلومینیوم در هر سه دمای اندایزینگ ۱۰، ۱۵ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد در حدود  $10^{-2}$  cm<sup>۲</sup> است به طوری که با افزایش دما تعداد حفرات افزایش یافته است.

نواحی مختلف نشان داده شده در شکل ۶، در ناحیه اول که جوانه‌زنی نطفه‌های اولیه نانوسیم‌ها در انتهای حفرات انجام می‌گیرد، میزان چگالی جریان کاهش می‌یابد. در واقع، سرعت رسوبدهی به دلیل محدودیت‌های موجود در انتقال جرم سریعاً کاهش می‌یابد. سپس جریان به مقدار ثابتی می‌رسد. این جریان ثابت مربوط به رشد نانوسیم‌ها در داخل حفرات است [۲۱-۲۴].

در مرحله سوم با رشد نانوسیم‌ها، ساختارهای قارچی شکل بر روی سطح الگوهای آلومینایی به صورت منظم رشد می‌کنند و چگالی جریان افزایش می‌یابد.

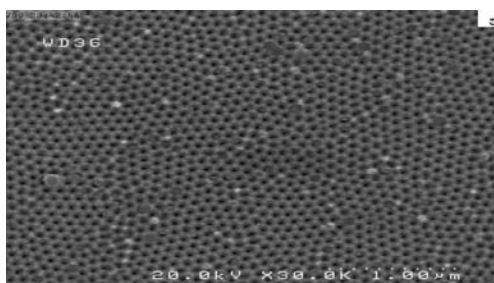
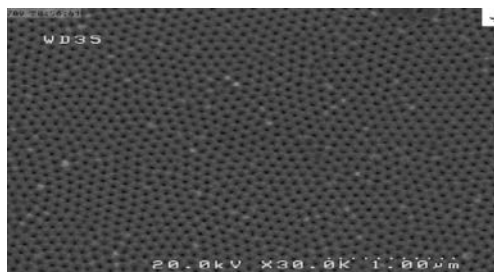
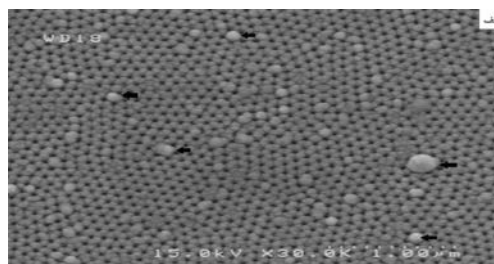


شکل ۶. مراحل سه‌گانه رشد نانوسیم در منحنی جریان - زمان

این مراحل به صورت نمودار جریان زمان و ایجاد لوله در تصویر ۶ نشان داده شده است.

در نهایت، با ادامه فرایند ترسیب، ساختارهای قارچی شکل به یکدیگر می‌پیوندند و ساختار صفحه‌ای شکل بر روی سطح الگو ایجاد می‌کنند و چگالی جریان به مقدار ثابتی می‌رسد [۱۲-۱۴، ۱۹، ۲۰، ۲۴].

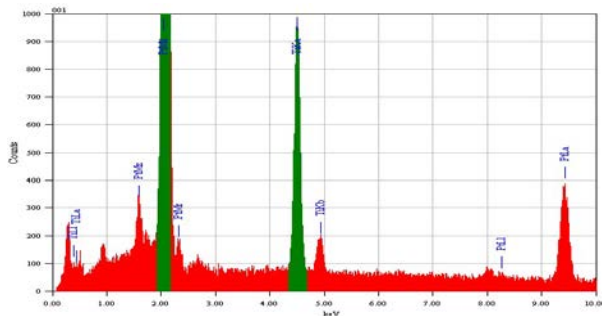
پس از رسوب الکتروشیمیایی، مقطع عرضی الگوی اکسید آندی آلومینیوم‌پوشیده با پلاتین میکروسکوپ الکترونی روبشی



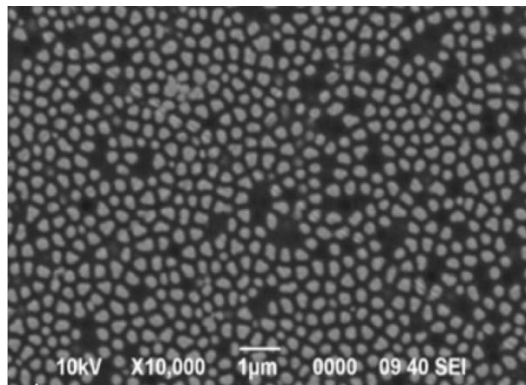
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی برای الگوهای اکسید آندی آلومینیوم آندایز شده در ولتاژ اعمالی ثابت ۴۰۷V برای دماهای مختلف (الف) صفر درجه سانتی‌گراد، (ب) ۱۰ درجه سانتی‌گراد، (ج) ۱۵ درجه سانتی‌گراد

نانوسیم‌های پلاتین در دمای اتاق، با اعمال ولتاژ متناوب ۱۲ ولت و فرکانس ۲۰۰ هرتز در حمام رسوبدهی تشکیل شدند. به‌منظور ثبت شکل موج اعمالی حین رسوبدهی از اسیلوسکوپ استفاده شد [۱۲-۱۵، ۱۹، ۲۰].

نواحی مختلف نشان داده شده در شکل ۶، در ناحیه اول که جوانه‌زنی نطفه‌های اولیه نانوسیم‌ها در انتهای حفرات انجام می‌گیرد، میزان چگالی جریان کاهش می‌یابد. در واقع، سرعت رسوبدهی به دلیل محدودیت‌های موجود در انتقال جرم سریعاً کاهش می‌یابد. سپس جریان به مقدار ثابتی می‌رسد. این جریان ثابت مربوط به رشد نانوسیم‌ها در داخل حفرات است [۲۱-۲۴].



شکل ۸. تجزیه و تحلیل EDS از نانوسیم‌های پلاتین



شکل ۹. تصاویر میکروسکوپ SEM از آلومینا پیر شده با نانوسیم‌های پلاتین

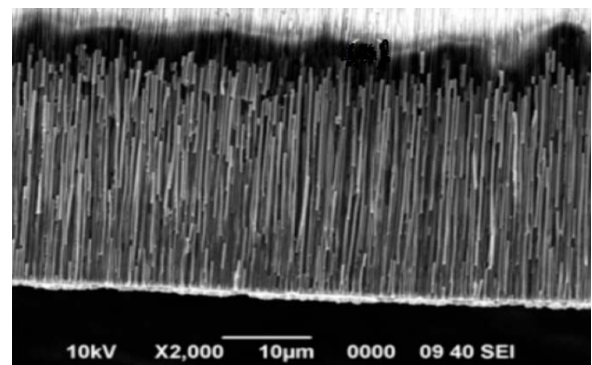
### ۳- نتیجه

در این تحقیق، تمپلیت اکسید آندی آلومینیوم در سه دمای متفاوت ساخته شدند. با افزایش دمای اندایزینگ، دانسیته جریان افزایش یافته در نتیجه مدت زمان تشکیل لایه اکسیدی مانع کاهش و شروع رشد حفرات سریع‌تر آغاز شده است.

قطر و دانسیته حفرات با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانیه دست آمدند. سایز حفرات در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، دارای ماکزیمم مقدار بود. همچنین، با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی مشاهده شد که با افزایش دمای اندایزینگ نظم حفرات الگو اکسید آندی آلومینیوم افزایش یافته است. همچنین، آرایه‌های نانوسیم‌های Pt، با موفقیت توسط رسوب الکتروشیمیایی ساخته شدند. نانوسیم‌های به دست آمده توسط SEM مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که نانوسیم‌های به دست آمده دارای قطر حدود

(SEM<sup>۱</sup>) مشخص شد. شکل ۷، میکروگرافی SEM قسمت متقاطع اکسید آندی آلومینیوم پیر شده با نانوسیم‌های پلاتین را نشان می‌دهد. آنالیز این تصویر، غشاهای پر شده با فلز نجیب پلاتین را نشان می‌دهد. سرعت رشد نانوسیم‌های پلاتین برابر  $2 \mu\text{m/h}$  محاسبه شد. پس از رسوب، برای تجزیه نانوسیم‌ها از الگوی اکسید آندی آلومینیوم در محلول  $5 \text{ M KOH}$  با استفاده از غوطه‌ورسازی حل شد. نانوسیم‌های آزاد، از طریق محلول هیدروکسید پتاسیم از طریق نیروی گریز از مرکز، ته‌نشین و چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند [۱۹-۲۴]. پس از این، فرایند، نانوسیم‌ها به آنالیز EDS منتقل شدند. طیف‌های EDS (شکل ۸) نشان می‌دهند که نانوسیم‌ها بدون ناخالصی نیستند (عناصر تشخیص داده شده شامل پلاتین و تیتانیوم است). قابل توجه است که Ti موجود در تمام طیف نشان داده شده است.

شکل ۹، نمای بالای میکروگرافی SEM از غشا توپر آلومینای پولیش مکانیکی شده با پلاتین را نشان می‌دهد. این نمای بالای میکروگرافی SEM نشان می‌دهد، نانوسیم‌های فلز نجیب پلاتین در حقیقت قطر و شکل حفره‌های غشاء آلومینا هستند [۱۲-۱۴، ۱۹-۲۵].



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع نانوسیم‌های پلاتین

anodic alumina," *Applied physics letters*, vol. 72, no. 10, pp. 1173-1175, 1998.

- [8] A. Ruiz-Clavijo, O. Caballero-Calero, and M. Martin-Gonzalez, "Revisiting anodic alumina templates: From fabrication to applications," *Nanoscale*, vol. 13, no. 4, pp. 2227-2265, 2021.
- [9] M. Soltani, R. Aliramezani, S. Akhavan, Z. Erfani Gahrouei, and M. Noormohammadi, "Fabrication of anodic aluminium oxide template and the generation of magnetic Co nanowires within it," *Journal of Advanced Materials and Processing*, vol. 7, no. 4, pp. 57-66, 2019.
- [10] H. Masuda, F. Hasegawa, and S. Ono, "Self-ordering of cell arrangement of anodic porous alumina formed in sulfuric acid solution," *Journal of the electrochemical society*, vol. 144, no. 5, p. L127, 1997.
- [11] J. Sarkar, G. G. Khan, and A. Basumallick, "Nanowires: properties, applications and synthesis via porous anodic aluminium oxide template," *Bulletin of Materials Science*, vol. 30, no. 3, pp. 271-290, 2007.
- [12] Y. Huang, H. Okumura, G. Hadjipanayis, and D. Weller, "CoPt and FePt nanowires by electrodeposition," *Journal of applied physics*, vol. 91, no. 10, pp. 6869-6871, 2002.
- [13] F. Li and L. Ren, "Fabrication and magnetic properties of FePt<sub>3</sub> nanowire arrays," *physica status solidi (a)*, vol. 193, no. 1, pp. 196-201, 2002.
- [14] S. Ichihara, M. Ueda, and T. Den, "Electrodeposition of FePt magnetic material and embedding into alumina-nanoholes," *IEEE transactions on magnetics*, vol. 41, no. 10, pp. 3349-3351, 2005.
- [15] M. Ou, T. Yang, and Y. Chen, "Anisotropic magnetism and magnetoresistance in iron nanowire arrays," *Chin. J. Phys*, vol. 47, pp. 848-853, 2009.
- [16] M. Ghorbani, F. Nasirpour, and A. Saedi, "On the growth sequence of highly ordered nanoporous anodic aluminium oxide," *Materials & design*, vol. 27, no. 10, pp. 983-988, 2006.
- [17] L. Fernández-Romero *et al.*, "Assessment of the thermal stability of anodic alumina membranes

۲۰۰ نانومتر و طول چند میکرومتر هستند. تمام نمونه‌ها پولیش مکانیکی شدند و نشان داده‌ایم که غشاهایاکسید آندی آلومینیومبه‌طور کامل با ترکیب فلزات پر شده است. آنالیزهای انجام‌شده نشان داد که نانوسیم‌های به‌دست‌آمده در داخل غشا ماندگار هستند.

## تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

## مراجع

- [1] H. Zeng *et al.*, "Magnetic properties of self-assembled Co nanowires of varying length and diameter," *Journal of Applied Physics*, vol. 87, no. 9, pp. 4718-4720, 2000.
- [2] S.-K. Hwang, S.-H. Jeong, H.-Y. Hwang, O.-J. Lee, and K.-H. Lee, "Fabrication of highly ordered pore array in anodic aluminum oxide," *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 467-473, 2002.
- [3] R. M. Metzger *et al.*, "Magnetic nanowires in hexagonally ordered pores of alumina," *IEEE Transactions on Magnetism*, vol. 36, no. 1, pp. 30-35, 2000.
- [4] N. F. Subari, S. Sakrani, and R. K. R. Ibrahim, "Controlled Pore Diameter in Porous Anodic Aluminium Oxide Templates for Nanotube/Nanowire Fabrication," *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 4, 2012.
- [5] P. Chowdhury, K. Raghuvaram, M. Krishnan, H. C. Barshilia, and K. Rajam, "Effect of process parameters on growth rate and diameter of nanoporous alumina templates," *Bulletin of Materials Science*, vol. 34, no. 3, pp. 423-427, 2011.
- [6] J. O'sullivan and G. Wood, "The morphology and mechanism of formation of porous anodic films on aluminium," *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, vol. 317, no. 1531, pp. 511-543, 1970.
- [7] O. Jessensky, F. Müller, and U. Gösele, "Self-organized formation of hexagonal pore arrays in



- at high temperatures," *Materials chemistry and physics*, vol. 111, no. 2-3, pp. 542-547, 2008.
- [18] A. Fardi-Ilkhchy, F. Nasirpouri, C. Bran, and M. Vázquez, "Compositionally graded Fe (1- x)-Pt (x) nanowires produced by alternating current electrodeposition into alumina templates," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 244, pp. 35-44, 2016.
- [19] H. Wang, Y. C. Wu, L. Zhang, and X. Hu, "Fabrication and magnetic properties of Fe/Pt multilayered nanowires," *Applied physics letters*, vol. 89, no. 23, p. 232508, 2006.
- [20] J. Xu, Z. Zhang, B. Ma, and Q. Jin, "Compositional control of Fe<sub>x</sub>Pt (1- x) nanowires by electrodeposition," *Journal of Applied Physics*, vol. 109, no. 7, p. 07B704, 2011.
- [21] A. Huczko, "Template-based synthesis of nanomaterials," *Applied Physics A*, vol. 70, no. 4, pp. 365-376, 2000.
- [22] M. Hernández-Vélez, "Nanowires and 1D arrays fabrication: An overview," *Thin solid films*, vol. 495, no. 1-2, pp. 51-63, 2006.
- [23] W. Li and T. H. Shen, "Nanomagnet arrays fabricated by electrodeposition using self-assembled anodic aluminium oxide templates," *Microelectronic engineering*, vol. 84, no. 5-8, pp. 1436-1439, 2007.
- [24] L. Tan, "Templated synthesis of magnetic nanowires by electrochemical deposition," *Ph. D. Thesis*, 2009.
- [25] A. Yasui, M. Iwasaki, T. Kawahara, H. Tada, and S. Ito, "Color properties of gold-silver alternate nanowires electrochemically grown in the pores of aluminum anodic oxidation film," *Journal of colloid and interface science*, vol. 293, no. 2, pp. 443-448, 2006.



## COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Licensee Iranian Space Research Center of Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)