



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## ساخت بلورهای نوری بوسیله آندایز دوره ای آلومینیوم و بررسی خواص نوری آن

محمد نورمحمدی<sup>۱</sup>، محمود مرادی<sup>۲،۳</sup> و عبدالله عباسپور فتح آبادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان

<sup>۲</sup>بخش فیزیک دانشکده‌ی علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

<sup>۳</sup>پژوهشکده نانو فناوری، دانشگاه شیراز، شیراز

چکیده - بر اساس آندایز دوره ای آلومینیوم، بلورهای نوری با نوار ممنوعه ای در طول موجهای ۶۲۵ و ۷۴۰ نانومتر ساخته شد. مشخصه های ساختاری بلور ساخته شده از قبیل فاصله بین شبکه ای آن به نوع شکل ولتاژ اعمالی وابسته بوده و می توان آنرا به خوبی کنترل نمود. اندازه گیری نوری نمونه مشخص کرد که مکان نوار ممنوعه به فاصله بین شبکه وابسته است و از رابطه براگ پیروی می کند. در باند ممنوعه نمونه ها، مقدار عبور نور کمتر از ۲ درصد است.  
کلید واژه- آندایز دوره ای، بلور نوری، فاصله بین شبکه ای، نوار ممنوعه

### Fabrication of photonic crystal based on periodic aluminum anodization and its optical properties investigation

Mohammad Noormohammadi<sup>1</sup>, Mahmood Moradi<sup>2,3</sup>, Abdollah Abbaspour fathabadi<sup>۲</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, University of kashan, kashan

<sup>2</sup> Department of Physics, Shiraz University, Shiraz

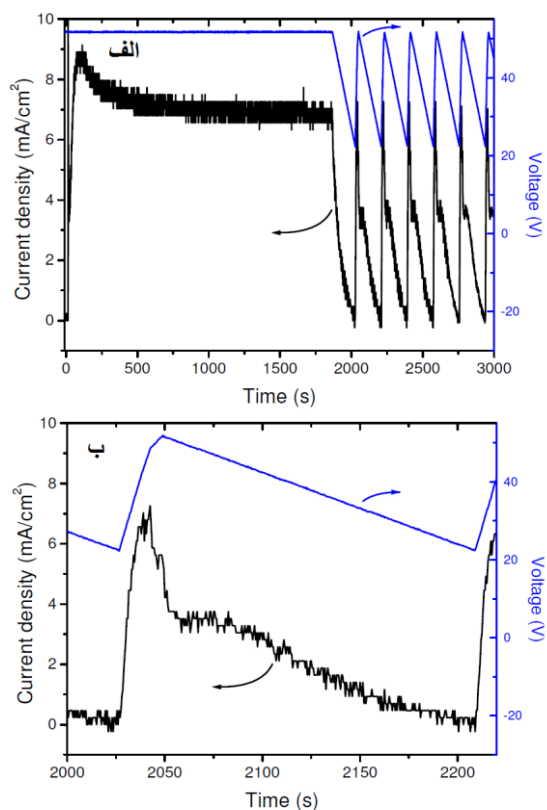
<sup>3</sup> Nanotechnology Research Center, Shiraz University, Shiraz

**Abstract-** Based on periodic anodization of aluminum, photonic crystals with photonic band gaps in the range of 625 and 740 nm were fabricated. Structural characteristic of prepared photonic crystal such as lattice constant can be well controlled by applying different voltage shapes. Optical measurement revealed that position of band gap depends on the lattice constant and consequently, the Bragg condition is satisfied. It was also found that the transmission light in photonic band gaps of the samples is lower than 2%.

Keywords: periodic anodization, photonic crystal, lattice constant, band gap

## ۱-مقدمه

شستشوی نمونه با آب دیونیزه و خشک کردن آن، باقیمانده بستر آلومینیوم با استفاده از محلول مرکب  $\text{CuCl}_2$  و  $\text{HCl}$  حذف می گردد. سپس نمونه ها در اسید فسفریک ۰/۵ مولار در دمای ۳۳ درجه سانتیگراد زمان های مختلف سونش شدند. اندازه گیری اپتیکی در زاویه عمود بر سطح و در حالت عبوری توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS انجام شد. بررسی ساختار هندسی نمونه با اندازه گیری تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع نمونه انجام شد.



شکل ۱: (الف) نمودار چگالی جریان و ولتاژ بر حسب زمان، (ب) شکل ولتاژ اعمالی در هر دوره و رفتار جریان برای نمونه‌ی ساخته شده تحت ولتاژ دوره ای.

## بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی

ابتدا به بررسی ساختار نانوحفره های تولید شده طی فرایند آندایز دوره ای پرداخته می شود. همانگونه که در شکل ۲ مشخص شده است قبل از اعمال ولتاژ متناوب شکل نانو حفره ها و راستای رشد آنها مستقیم می باشد. همان گونه که در این شکل دیده می شود مرز مشخصی بین ناحیه ای که آندایز دوره ای شده و ناحیه قبل از آن که ولتاژ آندایز ثابت بوده وجود دارد.

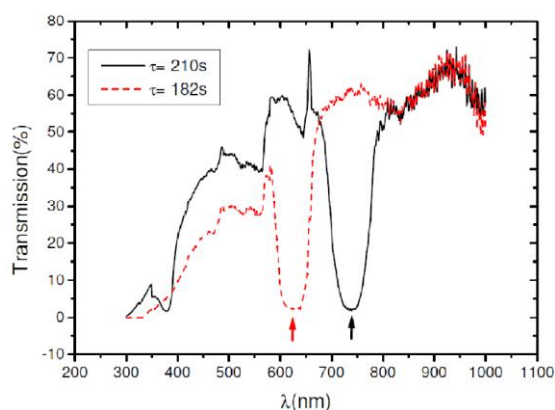
بلورهای نوری که براساس تغییرات تناوبی ضریب شکست مواد دی الکتریک ساخته می شوند، اخیراً توجه زیادی را به خود جلب نموده است. این نوع بلورها با توجه به نوار ممنوعه شان کاربردهای گسترده ای در حوزه ساخت ادوات اپتیکی و الکترواپتیکی دارند [1-2]. روش های مختلفی را می توان برای ساخت این نوع بلورها بکارگرفت از جمله: روش های لیتوگرافی و خودآرایی [3]. روش لیتوگرافی روش گران قیمت و زمان بر است و روش خودآرایی را تنها در شرایط خاص میتوان بکاربرد و روشی نسبتاً پیچیده است. اخیراً روش رشد آندی بلورهای نوری که نسبتاً آسان و کم هزینه تر میباشد توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب نموده است [4]. بنابراین براساس این روش بلورهای نوری براساس آندایز آلومینیوم معرفی گردیده اند که دارای ساختار تناوبی از آلومینای آندی نانو حفره دار هستند. در این مقاله سعی بر آن شده که بلورهای نوری بر اساس آندایز دوره ای آلومینیوم ساخته شود و خواص نوری آن با توجه به شکل ولتاژ آندایز مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲-روش انجام آزمایش

ابتدا فرایند الکتروپولیش ورقه آلومینیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد در مخلوطی از اتانول و اسید کلریدیک با نسبت چهار به یک تحت اختلاف پتانسیل ۲۰ ولت انجام می شود تا سطحی صاف و صیقلی بر روی بستر آلومینیوم ایجاد شود. آندایز با استفاده از اسید اکسالیک ۰/۳ مولار و در دمای  $17^{\circ}\text{C}$  صورت می گیرد. ابتدا به مدت 2 ساعت آندایز در 53 ولت انجام می شود تا حفره ها شکل بگیرند و الگوی اولیه بر روی بستر آلومینا ایجاد شود. سپس لایه ایجاد شده را با محلول ترکیبی از 0/5 مولار اسید فسفریک و ۰/۲ مولار اسید کرمیک در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد حل می کنیم. آندایز مرحله دوم ابتدا به مدت ۳۰ دقیقه در ولتاژ ۵۳ ولت انجام شده و در ادامه به منظور شکل گیری حفره ها با هندسه تناوبی، ولتاژ متناوب اعمال می شود. نمودار چگالی جریان- ولتاژ بر حسب زمان فرایند آندایز در شکل ۱ نشان داده شده است. سپس نمونه ساخته شده برای انجام اندازه گیری اپتیکی آماده می شود که برای این منظور پس از

مختلف، نوار ممنوعه هایی را در طول موجهای ۷۴۰ و ۶۲۵ نانومتر نشان میدهد.

نمونه ساخته شده تحت دوره تناوب ۲۱۰ ثانیه (با ۹۰ تکرار) به مدت ۵۰ دقیقه در اسید فسفریک ۰/۵ مولار در دمای ۳۳ درجه سانتیگراد و نمونه ۱۸۲ ثانیه ای (با ۱۶۰ تکرار) به مدت ۳۰ دقیقه در همین شرایط سونش شده اند. مکان این باند دقیقاً با فاصله بین شبکه ای در ارتباط بوده و از رابطه براگ  $m\lambda = 2nd$  (در حالتی که پرتو فرودی عمود بر سطح است و در آن  $m$  مرتبه پراش،  $\lambda$  طول موج براگ،  $n$  ضریب شکست آلومینا (۱/۶) و  $d$  فاصله بین لایه ها می باشد) پیروی میکند [6]. با توجه به این رابطه می توان بیان داشت که به ازای یک فاصله بین شبکه ای مشخص نوار ممنوعه در کجا قرار می گیرد. حال با توجه به این مطلب که فاصله بین شبکه ای را می توان با تغییر شکل ولتاژ کنترل نمود عملاً می توان از طریق کنترل شاخصه های نوع ولتاژ اعمالی، مکان نوار ممنوعه را تعیین کرد. همانگونه که در شکل ۳ نشان داده شده است می توان با افزایش زمان آندایز از ۱۸۲ به ۲۱۰ ثانیه طی هر دوره فاصله بین شبکه را افزایش داد و به این ترتیب مکان نوار ممنوعه را به طول موج های بزرگتر انتقال داد و یا بر عکس.

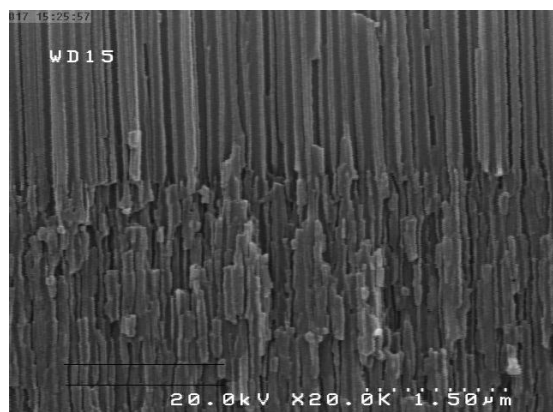


شکل ۳: نمودار طیف عبوری نمونه های ساخته شده در دوره های زمانی متفاوت ولتاژ (مکان نوار ممنوعه با پیکان مشخص شده است).

### ۳- نتیجه گیری

با استفاده از آندایز دوره ای آلومینیم، بلورهای نوری با فاصله بین شبکه ای مختلف ساخته شد. بر اساس

با اعمال ولتاژ دوره ای راستای رشد حفره ها به هم می ریزد و این به دلیل رابطه مستقیم خطی بین فاصله بین حفره ها و ولتاژ است که ثابت تناسب آن ۲/۵ نانومتر بر ولت است، درعین حال رابطه تجربی بین قطر حفره ها و ولتاژ اعمالی نیز بصورت خطی با ثابت تناسب ۰/۹ نانومتر بر ولت میباشد [5]. بنابراین زمانی که ولتاژ از ۵۳ ولت به ۲۳ ولت کاهش پیدا می کند می توان گفت که فاصله بین حفره ای تقریباً نصف می شود یا به نوعی یک حفره به دو حفره تقسیم می شود و قطر آن هم کاهش پیدا می کند.



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شده از سطح مقطع نمونه که تحت آندایز دوره ای قرار گرفته است.

این روند به طور تناوبی با اعمال ولتاژ دوره ای ادامه پیدا می کند، این بدان معنی است که در ساختار نمونه لایه هایی با حفره شدگی متفاوت شکل می گیرند که این مطلب در شکل ۲ مشخص شده است. فاصله بین دو خطی که در این شکل مشاهده می شود معرف فاصله ای است که در آن شبکه تناوبی تکرار می شود و بیانگر فاصله بین شبکه ای در ساختار بلور نوری ساخته شده است، که در اینجا تقریباً ۲۰۰ نانومتر است. این فاصله به شکل ولتاژ اعمالی وابسته است و می توان با کنترل شکل ولتاژ این فاصله را تعیین نمود. زمانی که آندایز در ولتاژهای بالا انجام می شود با توجه به بالا بودن جریان آندایز در این ولتاژها مطابق شکل ۱(ب)، نرخ رشد بالا بوده و حفره ها عمق پیدا می کنند ولی در ولتاژهای پایین به دلیل افت جریان حفره ها بیشتر، منشعب می شوند. همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می شود اندازه گیری های نوری نمونه های ساخته شده تحت ولتاژ دوره ای با دوره تناوب

آزمایشها و اندازه گیری های نوری انجام شده نتایج زیر بدست آمد:

۱. شکل نانوحفره های ساخته شده به شکل ولتاژ اعمالی در آندایز وابسته است.
۲. مکان نوار ممنوعه نوری به فاصله بین شبکه وابسته است و از رابطه براگ پیروی می کند.
۳. چون فاصله بین شبکه ای را شکل ولتاژ اعمالی مشخص می کند بنابراین می توان با کنترل شکل و مشخصه های آن مکان نوار ممنوعه را تعیین نمود.

## مراجع

- [1] Yablonovitch E., Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics, *Phys. Rev. Lett.*, 58 (1987) 2059.
- [2] John S., Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices, *Phys. Rev. Lett.*, 58 (1987) 2486.
- [3] Maldovan M. and Thomas E., Diamond-structured photonic crystals, *Nat. Mater.*, 3 (2004) 593.
- [4] Wang B., Fei GT., Wang M., Kong MG. and Zhang LD., Preparation of photonic crystals made of air pores in anodic alumina, *Nanotechnology*, 18 (2007) 365601.
- [5] Nielsch K., Choi J., Schwim K., Wehrspohn R.B. and Gösele U., Self-ordering Regimes of Porous Alumina: The 10% Porosity Rule, *Nano Letters*, 2 (7) (2002) X-680.
- [6] Snow PA., Squire E. K., Russell P. St. J. and Canham LT., Vapor sensing using the optical properties of porous silicon Bragg mirrors, *J Appl Phys*, 86 (1999) 1781.