

## ساخت بلورهای نوری براساس آندایز پالسی آلومینیوم و بررسی خواص نوری آن

محمد نورمحمدی، سهیلا عباسی مفرد، محمد الماسی کاشی و عبدالعلی رضانی

دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده - بر اساس آندایز پالسی آلومینیوم بلورهای نوری یک بعدی ساخته شد. مشخصه های ساختاری بلور ساخته شده به نوع شکل پالس اعمالی وابسته بوده و فاصله بین شبکه ای بلور را می توان 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 عین حال مشخص شد که کیفیت بلورهای نوری ساخته شده را می توان با سونش شیمیایی بالا برد.

کلید واژه- بلور نوری، نانو حفره های آلومینا، نوار نوری ممنوعه، سونش شیمیایی .

### **Fabrication and optical properties investigation of photonic crystal based on pulse anodization of aluminum**

Mohammad Noormohammadia, Soheila Abbasimofrada, Mohammad Almasi Kashia, Abdolali Ramazania

Department of Physics, University of Kashan, Kashan, Iran

**Abstract-** One dimensional (1D) photonic crystal was fabricated based on pulse anodization of aluminum. Lattice constant of prepared photonic crystal can be controlled by applying different pulse shapes. Optical measurement revealed that position of band gap is dependent to the lattice constant and Bragg condition is satisfied. Optical properties of alumina photonic crystal by tuning chemical etching were improved.

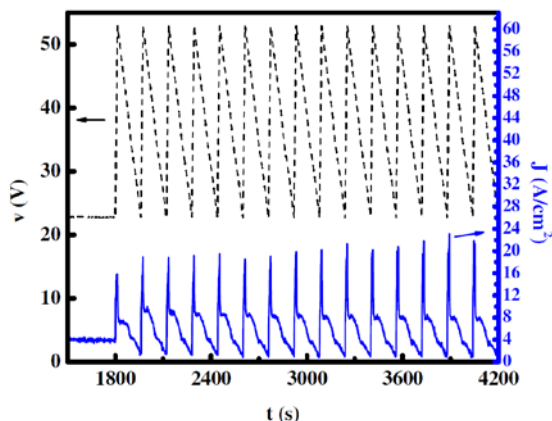
**Keywords:** photonic crystals; nanoporous anodic alumina; photonic band gap; chemical etching.

## ۱- مقدمه

بلورهای نوری که براساس تغییرات تناوبی ضریب شکست مواد دی الکتریک ساخته می شوند، اخیرا توجه زیادی را به خود جلب نموده است. این نوع بلورها باتوجه به نوار ممنوعه شان کاربردهای گسترده ای در حوزه ساخت ادوات اپتیکی و الکترواپتیکی دارند [۱-۲]. روش های مختلفی را می توان برای ساخت این نوع بلورها بکارگرفت از جمله: روش های لیتوگرافی و خودآرایی [۳]. روش لیتوگرافی روش گرانتقیمت و زمان بر است و روش خودآرایی را تنها در شرایط خاص میتوان بکاربرد و روشی نسبتا پیچیده است. اخیرا روش رشد آندی بلورهای نوری که نسبتا آسان و کم هزینه تر میباشد توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب نموده است [۴-۶]. بنابراین براساس این روش بلورهای نوری براساس آندایز آلومینیوم معرفی گردیده اند که دارای ساختار تناوبی از آلومینای آندی نانو حفره دار هستند. دراین مقاله سعی بر آن شده که بلورهای نوری بر اساس آندایز آلومینیوم الگودهی شده ساخته شود و خواص نوری آن با توجه به شکل پالس ولتاژ آندایز مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲- روش 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 ۱۷°C صورت می گیرد. ابتدا به مدت ۲ ساعت آندایز در ۵۳ 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 نیم مولار اسید فسفریک و ۰/۲ مولار اسید کرمیک در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۵ ساعت 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 [۵-۶]. نمودار چگالی جریان-ولتاژ بر حسب زمان فرایند آندایز در شکل ۱ نشان داده شده است.



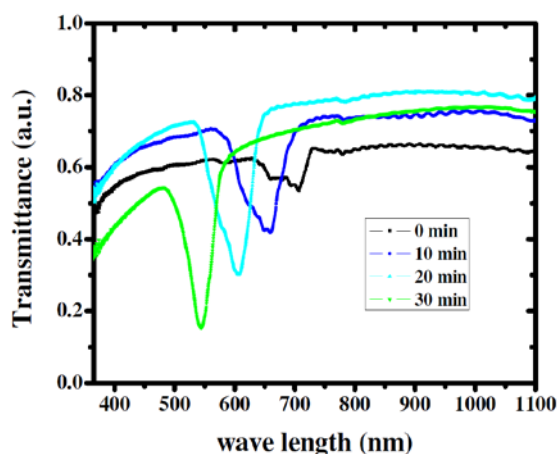
شکل ۱: نمودار چگالی جریان و ولتاژ بر حسب زمان، برای نمونه‌ی ساخته شده تحت ولتاژ پالسی.

سپس نمونه ساخته شده را برای انجام انداز گیری اپتیکی آماده می شود که برای این منظور پس از 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 زمانهای مختلف در اسید فسفریک نیم مولار و دمای ۳۰ درجه سانتیگراد سونش شیمیایی شدند. بررسی ساختار هندسی نمونه، اندازه گیری تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع نمونه شکسته شده انجام شد. در اندازه گیری اپتیکی در زاویه عمود بر سطح و در حالت عبوری نمونه‌های که زیر لایه آن حذف شده بود بر روی نگهدارنده پلی کربنی نسب شده و در دستگاه اسپکتروفتومتر Cintra UV-VIS سوار شد. سپس در مد عبوری دستگاه از طول موج ۳۵۰ الی ۱۱۰۰ نانو متر میزان عبور نمونه ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۳- بحث و بررسی نتایج آزمایشگاهی

ابتدا به بررسی ساختار نانو حفره های تولید شده طی فرایند آندایز پالسی 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 پالسی شده و ناحیه قبل از آن که ولتاژ آندایز ثابت بوده وجود دارد. با اعمال ولتاژ پالسی 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 برولت است، درعین حال

شدیدا افزایش یافته و در عین حال به سمت طول موجهای کوچکتر انتقال پیدا می کند.



شکل ۳: نمودار طیف عبوری نمونه های ساخته شده با زمانهای سونش متفاوت.

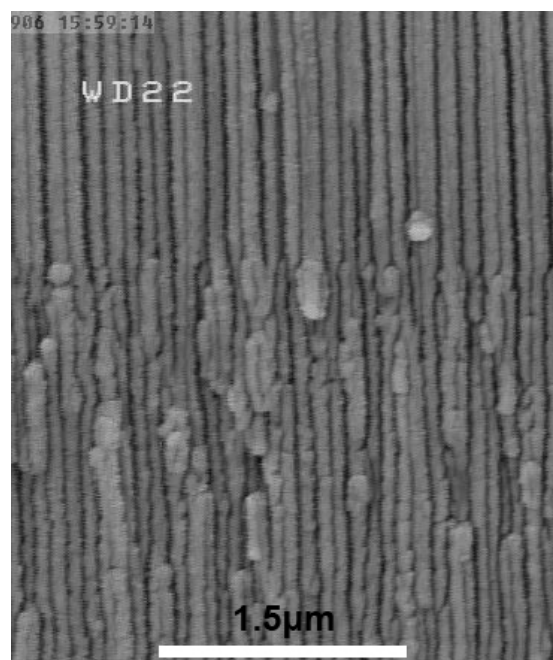
مکان این نوار دقیقا با فاصله بین شبکه ای در ارتباط بوده و از رابطه براگ  $m\lambda = 2nd$  (در حالتی که پرتو فرودی عمود بر سطح است و در آن  $m$  مرتبه پراش،  $\lambda$  طول موج براگ،  $n$  ضریب شکست آلومینا و  $d$  فاصله بین لایه ها می باشد) پیروی میکند [8]. با توجه به این رابطه می توان بیان داشت که 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 پالس ولتاژ کنترل نمود عملا می توان از طریق کنترل شاخصه های نوع پالس ولتاژ اعمالی، مکان نوار ممنوعه را تعیین کرد. در عین حال همانگونه که در این شکل نشان داده شده است می توان با افزایش زمان سونش ضریب شکست را کاهش داد و به این ترتیب مکان نوار ممنوعه را به طول موج های کوچکتر انتقال داد. علاوه بر این اثر مهم دیگر سونش در این است که با کاهش عیوب ساختاری باعث افزایش کیفیت بلور نیز می شود.

#### ۴- نتیجه گیری

با استفاده از آندایز پالسی آلومینیم، بلورهای نوری ساخته شد. بر اساس آزمایشها و اندازه گیری های نوری انجام شده، نتایج زیر بدست آمد:

۱. شکل نانوحفره های ساخته شده به شکل پالس ولتاژ اعمالی در آندایز وابسته است.

رابطه تجربی بین قطر حفره ها و ولتاژ اعمالی نیز بصورت خطی با ثابت تناسب  $0.9$  نانومتر بر ولت میباشد [7].



شکل ۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شده از سطح مقطع نمونه ساخته شده با آندایز پالسی.

بنابراین زمانی که ولتاژ از  $53$  ولت به  $23$  ولت کاهش پیدا می کند می توان گفت که فاصله بین حفره ای تقریبا نصف می شود یا به نوعی یک حفره به دو حفره تقسیم می شود و قطر آن هم کاهش پیدا می کند. این روند به طور تناوبی با اعمال ولتاژ پالسی 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. ضخامت حفره شدگی های مختلف به شکل پالس اعمالی وابسته است و می توان با کنترل شکل پالس این ضخامت را تعیین نمود. زمانی که آندایز در ولتاژ های بالا انجام می شود با توجه به بالا بودن جریان آندایز در این ولتاژ ها، نرخ رشد بالا بوده و حفره ها عمق پیدا می کنند، ولی در ولتاژ های پایین به دلیل افت جریان حفره ها بیشتر منشعب می شوند. با توجه به شکل ۳، اندازه گیری های نوری نمونه ساخته شده تحت ولتاژ پالسی (بدون سونش) نوار ممنوعه ای را در طول موج  $700$  نانومتر نشان میدهد. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود با سونش شیمیایی عمق نوار ممنوعه

۲. مکان نوار ممنوعه نوری به فاصله بین شبکه وابسته است و از رابطه براگ پیروی می کند.

۳. کیفیت بلورهای نوری ساخته شده را می توان با سونش شیمیایی بالا برد.

## مراجع

- [1] E. Yablonovitch; "Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics"; *Phys. Rev. Lett.*, Vol 58, pp 2059, 1987.
- [2] S. John; "Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices" ; *Phys. Rev. Lett.*, Vol 58, pp2486, 1987
- [3] M. Maldovan and E. Thomas; " Diamond-structured photonic crystals"; *Nat. Mater.*, Vol 3, pp 593, 2004.
- [4] Y. Su, et al, "Controllable preparation of the ordered pore arrays anodic alumina with high-quality photonic band gaps" *Materials Letters*, Vol 65, pp 2693–2695, 2011.
- [5] M. M. Rahman, L. F. Marsal, J. Pallarès, and J. Ferré-Borrull "Tuning the Photonic Stop Bands of Nanoporous Anodic Alumina Based Distributed Bragg Reflectors by Pore Widening" *ACS Appl. Mater. Interfaces*, VOL 5, pp 13375-13381, 2013
- [6] Wang B, Fei GT, Wang M, Kong MG, Zhang LD. "Preparation of photonic crystals made of air pores in anodic alumina" *Nanotechnology*, VOL18, pp 365601, 2007
- [7] W. Lee and S. J. Park, "Porous Anodic Aluminum Oxide: Anodization and Templated Synthesis of Functional Nanostructures" *Chem. Rev*, Vol 114 (15), pp 7487–7556, 2014.
- [8] PA. Snow, EK. PSJ. Squire, Russell and LT. Canham; "Vapor sensing using the optical properties of porous silicon Bragg mirrors"; *J Appl Phys*, Vol 86, pp 178, 1999.