بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : A-۱۰-۲۵۲۲-۱

ایجاد توری پراش در لایه‌های نازک نقره-کلریدنقره بر زیرلایه‌های تبادل یون شده

مائده اصلانی[۱] وراضیه طالبی[۱و۲]

[۱] دانشکده‌ی فیزیک، دانشگاه اصفهان
[۲] گروه اپتیک کوانتوم، دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان

چکیده- در این مقاله، ابتدا ساخت شیشه‌های تبادل یون شده‌ینقره-سدیم بررسی شده است. در فرآیند تبادل یون، با جاگیری یون‌های نقره درساختار شیشه، به دلیل برانگیختگی پلاسمون سطحی نانوذراتنقره‌ی درون شیشه، جذب در طول موج مشخصه‌ی یون‌های نقره در این شیشه‌ها افزایش می‌یابد. با بازپخت شیشه‌های تبادل یون شده، یون‌های نقره به اتم خنثی تبدیل می‌شوند و قله‌ی جذب مشخصه‌ی مرتبط با اتم‌های نقره در بیناب جذب نمونه آشکار می‌شود. در مرحله بعد، لایه‌ی نازک کلریدنقره بارگذاری شده با نانوذرات نقره بر سطح شیشه‌های تبادل یون شده انباشته می‌شود. لایه‌ی نقره-کلریدنقره نقش جفت‌کننده‌ی نور برای لایه‌ی موجبری تبادل یون شده را ایفا می‌کند. با اندازه‌گیری دوره‌ی تناوب نانوساختارهای دوره‌ای القاء شده توسط پرتو لیزر بر سطح بستره، ضریب شکست مؤثر شیشه تبادل یون نقره-سدیم اندازه‌گیری می‌شود.

کلید واژه- تبادل یون، تشدید پلاسمون سطحی، شیشه‌ی سودا-لایم،نانوذرات نقره.

Fabricating diffraction grating in Ag-AgClthin film on ion-exchangesubstrate

Maedeh Aslani[1] andRazieh Talebi[1,2]

[1]Department of Physics, University of Isfahan
[2]QuantumOpticsGroup, Department of Physics, University of Isfahan

Abstract- In this paper, the fabrication of silver-sodium ion-exchange glasses is investigated. In the ion exchange process, with the placement of silver ions in the glass structure, due to the excitation of surface plasmon resonance of silver nanoparticle in glass, the absorption peak of silver ions has increased at their characteristic wavelength. Annealing the ion-exchange glasses lead to the conversion silver ions to neutral atoms and the absorption peak associated with silver atoms appearsin the absorption spectrum of the annealed samples. In the next step, silver chloride thin film loaded with silver nanoparticles is deposited on ion exchange glass. The Al-AgCl thin film acts as a coupler for the ion-exchange waveguide. By measuring the periodicity of periodic nanostructures induced by laser beam on the surface of substrate, theeffectiverefractive index of silver-sodium ion exchange glass is obtained.

Keywords: ion exchange,Surface Plasmon Resonance, Soda-lime glass,silver nanoparticles.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

۱-مقدمه

ترکیباتی که شامل نانوذرات فلزی هستند، کاربردهای فراوان در زمینه‌های مختلف علوم و فن‌آوری به ویژه در فوتونیک دارند [۱]. از جمله‌ی این ترکیبات، می‌توان به شیشه‌های تبادل یون شده‌ی نقره-سدیم به منظور ساخت موجبرهای تخت در مدارهای مجتمع نوری اشاره کرد [۱]. از شیشه‌های تبادل یون شده‌ی نقره-سدیم برای ساخت مواد ترکیبی با ویژگی‌های نوری خطی وغیرخطی منحصربه‌فرد که تحت تأثیر تشدید پلاسمون سطحی نانوذرات فلزی در بستر دی‌الکتریک هستند، استفاده می‌شود[۱]. نفوذ یون نقره به لایه‌ی سطحی شیشه سبب افزایش ضریب شکست سطحی آن می‌شود [۱].

اخیراً نشان داده شده است که با ایجاد توری پراش بر سطح لایه‌ی موجبری می‌توان پرتو نوری را با موجبر جفت کرد [۲]. برای این منظور، از لایه‌ی نازک نقره-کلریدنقره استفاده می‌شود[۲]. با تابش نور قطبیده‌ی خطی به این لایه‌های نازک ساختارهای متناوب در راستای قطبش نور فرودی شکل می‌گیرد که نقش توری پراش برای جفت کردن نور در لایه‌ی موجبری را دارد [۲].

۲-ساخت نمونه‌ی تبادل یون شده

به منظور ساخت نمونه‌ی تبادل یون شده‌ی نقره-سدیم از بستره‌ی شیشه‌ای سودالایم با ترکیبات 66.12% SiO_2, 20.90% Na_2O, 5.85% CaO, 4.46% MgO, 1.16% Al_2O_3, 0.883% K_2O, 0.116% As_2O_3, 0.025% Fe_2O_3, 0.014% ZrO, 0.008% CuO, 0.003% Rb_2Oاستفاده شده است. یون‌های نقره طی یک فرآیند حرارتی ازترکیب رسوبی نیترات نقره-نیترات سدیم که حاوی چهار درصد وزنی نیترات نقره است، در دمای ۳۵۰ درجه‌ی سانتیگراد جایگزین یون‌های سدیم موجود در ساختار شیشه می‌شوند. پس از فرآیند تبادل یون، رنگ شیشه از حالت شفاف به زرد روشن تغییر می‌کند. ضریب شکست نمونه‌ی تبادل یون شده با درصد وزنی ۶٪نیترات نقره با اندازه‌گیری به روش تعیین زاویه‌ی بروستر برابر با ۱/۵۵ است.

۲-۱-کاهیده شدن یون‌های نقره

با بازپخت نمونه‌های تبادل یون شده دربازه‌های زمانی و دمایی مشخص، رنگ شیشه‌ها از حالت زرد روشن به قهوه‌ای تیره می‌گراید [۳]. تغییر رنگ شیشه‌های تبادل یون شده طی یک فرآیند حرارتی عمدتاً به دلیل خنثی شدن یون‌های نقره (کاهیده شدن) و تغییر در بیناب جذب است [۳].

تبدیل یون نقره به اتم خنثی با اعمال یک فرآیند حرارتی انجام می‌گیرد که با کاهش تدریجی غلظت یون-های نقره همراه است [۳].کاهیده شدن یون‌های نقره در فرآیند طول بازپخت، مستلزم وجود یک عامل احیا کننده یایک عنصر چند ظرفیتی مانند As_2O_3یاFe_2O_3 است. کاهیده شدن یون‌های نقره به اتم، تحت تأثیر یون‌های آهن Fe^{2+}، طی فرآیند اکسایش و تبدیل شدن به یونFe^{3+} تبدیل شدن است می‌شود [۳]. همچنین، قرارگیری نمونه-ی تبادل یون شده در معرض جو که حاوی اتم‌های اکسیژن است در دمای متوسط در کاهیده شدن یون‌های نقره مؤثر است [۳].بنابراین، عملیات حرارتی به تنهایی منجر به کاهیده شدن یون‌های نقره نمی‌شود [۳]. تغییر رنگ شیشه‌های تبادل یون شده در طول بازپخت از زرد به قهوه‌ای نتیجه‌ی تغییردرجه‌ی اکسیداسیون نقره است که به وجود عناصر چندظرفیتی مانند آهن که به صورت اکسید در ساختار شیشه موجود است، وابستگی دارد [۳].

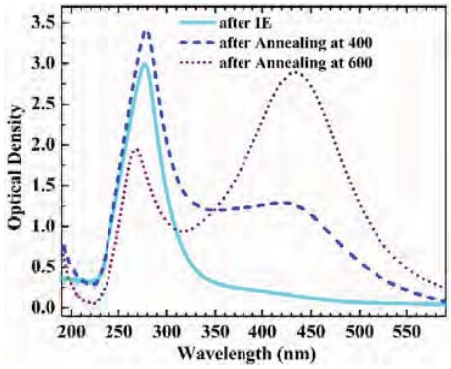
۳-مشخصه‌یابی نمونه

به منظور بررسی ویژگی‌های نوری دقیق نمونه‌های تبادل یون شده از روش‌های مختلف مشخصه‌یابی مانند بیناب-نمایی جذبی، بیناب سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونیروبشی استفاده شده است.

۳-۱-بیناب نمایی جذبی نمونه‌های تبادل یون شده

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

پس از تبادل یون اولیههرگونه گرمادهی مجدد، در بازه-های زمانی و دمایی مختلف، در تشدید پلاسمون سطحی نانوذرات نقره نقش دارد [۳]. عناصری که طی تبادل یون در ساختار شیشه قرار گرفته‌اند، عمدتاً به صورت یون نقره هستند و با سایر عناصر موجود در ساختار شیشه واکنش داده و خنثی می‌شوند [۳]. در دماهای بالاتر، یون‌های نقره ضمن خنثی شدن به منظور حفظ تعادل ترمودینامیکی تمایل به تشکیل نانوذرات نقره و خوشه‌های بزرگتر نقره دارند [۳]. تشدید پلاسمون سطحی فلزات و بیناب جذب آنها تحت تأثیر عواملی مانند تغییر شکل، اندازه، غلظت نانوذرات فلزی و ثابت دی‌الکتریک بستره است [۳]. برای بررسی این موضوع، بیناب جذب نمونه تبادل یون شده با ترکیب چهار درصد در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد قبل و بعد از بازپخت در شکل ۱ نشان داده شده است.



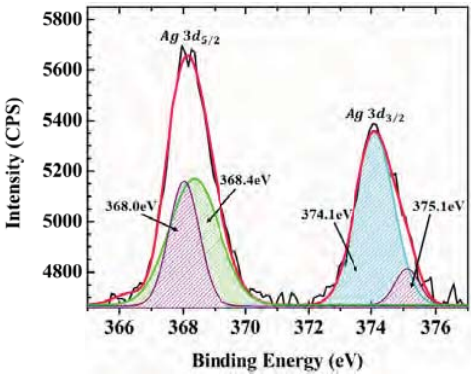
شکل ۱: بیناب جذب شیشه‌ی تبادل یون شده پس از تبادل یون، پس از بازپخت در دماهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه‌ی سانتیگراد.

در شکل ۱، قله مشخصه‌ی یون‌های نقره در طول موج ۲۷۰ نانومتر در تمام نمونه‌ها به وضوح دیده می‌شود. در طی بازپخت نمونه، ارتفاع این قله کاهش می‌یابد.

در شکل ۱، پیدایش قله‌ی جذب در نمونه‌های بازپخت شده به در نزدیکی طول موج ۴۵۰ نانومتر نتیجه‌ای از تبدیل یون‌های نقره به خوشه‌های خنثی نقره است [۳].

۳-۲-بیناب‌سنجی فوتوالکترون پرتوایکس

به منظور بررسی عنصری سطح مواد، ترکیبات شیمیایی و تعیین حالت پیوندی بدون آسیب زدن به نمونه از بیناب-سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس استفاده می‌شود. شیشه‌ی سودالایم به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد تبادل یون شده است. پس از فرآیند تبادل یون، طی فرآیند بازپخت، خوشه‌های نقره درون ساختار زیرلایه شکل می‌گیرند [۳]. وجود نقره در هر دو حالت یونی و خنثی در بیناب فوتوالکترون پرتو ایکس که در شکل ۲ نشان داده شده است، قابل تشخیص است. برازش قله‌های گائوسی بر قله‌های $Ag3d_{5/2}$ و $Ag3d_{3/2}$، منجر به پیدایش چهار قله که دو قله در 368.0eV و 368.4eV مربوط به یون‌های نقره و دو قله در374.1eV و 375.1eV مرتبط با اتم های نقره است [۴].



شکل ۲: بیناب‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس با وضوح بالای نقره.

۴-ایجاد توری پراش در لایه‌ی نقره-کلریدنقره بر بسترهٔ تبادل یون شده

پس از ساخت شیشه‌های تبادل یون شده، طی دو مرحله، ۵۰ نانومتر کلرید نقره و ۱۰ نانومتر نقره بر سطح بستره‌ی تبادل یون شده به روش تبخیر حرارتی در دمای اتاق لایه‌نشانی می‌شود. برای ایجاد نانوساختارهای متناوب، لایه‌های نازک نقره-کلریدنقره تحت تابش پرتو لیزر قطبیده‌ی خطی با طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر قرار می‌گیرد.

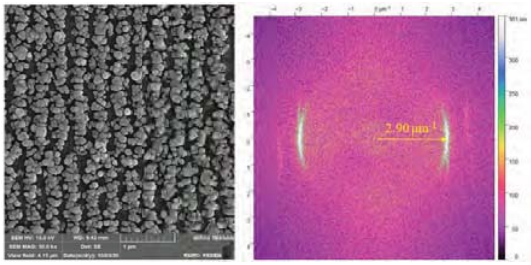
بخشی از پرتو فرودی توسط نانوذرات نقره پراکنده می‌شود و بخش دیگر از نمونه عبور می‌کند. بخشی از پرتوهای پراکنده شده توسط نانوذرات نقره وارد لایه موجبری کلرید نقره می‌شود. نانوساختارهای دوره‌ای از تداخل پرتونور فرودی و مد منتشر شده در لایه‌ی

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

موجبری کلرید نقره ایجاد می‌شود. نانوذرات نقره در فریزهای تاریک طرح تداخل تجمع کرده و توری پراش ایجاد می‌کنند[۲].

۱-۴- تصویربرداری از سطح نمونه

به منظور مطالعه‌ی تغییرات ساختاری لایه‌های نازک نقره-کلریدنقره که تحت تابش پرتو لیزر قرار گرفته‌اند، از تصاویر میکروسکوپ الکترونیروبشی که از سطح نمونه‌ی تبادل یون شده با شش درصد نیترات نقره موجود در ترکیب رسوبی نیترات سدیم-نیترات نقره تهیه شده است، استفاده می‌شود. تشکیل نانوساختارهای متناوب بر سطح بستره‌ی تبادل یون شده پس از تابش لیزر با طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر، در این تصویر قابل مشاهده است. به منظور بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونیروبشی (SEM) و اندازه‌گیری دوره‌ی تناوب نانوساختارها، از تبدیل سریع فوریه‌ی (FFT) از تصویر میکروسکوپ الکترونیروبشی که فضای معکوس تصویر است، استفاده شده است. خطوط قوسی شکل در تصویر (FFT) به دلیل شکل موج-گونه نانوساختارهای متناوب است.



شکل۳: تصاویر SEM و FFT مرتبط با بستره‌ی تبادل یونی۶٪ بارگذاری شده توسط لایه‌های نازک نقره-کلریدنقره.

تصویر SEM گرفته شده از سطح نمونه، علاوه بر تأیید تشکیل نانوساختارهای دوره‌ای در راستای قطبش نور فرودی، اندازه‌گیری دوره‌ی تناوب توری (d) وابسته به طول موج نور فرودی (λ) و ضریب شکست مؤثر (n_{eff}) زیرلایه‌ی تبادل یون شده را با کمک رابطه‌ی زیر امکان-پذیر می‌کند[۲]

$$d = \frac{\lambda}{n_{eff}}. \qquad (۱)$$

با توجه به رابطه‌ی (۱)، پس از اندازه‌گیری دوره‌ی تناوب توری (۴۳۰ نانومتر) و جاگذاری مقدار طول موج فرودی (۶۳۲/۸ نانومتر) در رابطه، ضریب شکست مؤثر مرتبط با بستره‌ی تبادل یونی تهیه شده با شش درصد نیترات نقره برابر با ۱/۵۴۷ گزارش شد.

۵-نتیجه‌گیری

شیشه‌های تبادل یون شده‌ی نقره-سدیم با قرار دادن مقدار مشخصی از ترکیب نیترات سدیم-نیترات نقره بر سطح شیشه‌های سودالایم تهیه شد. با نفوذ یون‌های نقره به ساختار شیشه، علاوه بر افزایش ضریب شکست سطح نمونه شاهد پدیدار شدن قله‌ی مشخصه‌ی یون نقره پس از تبادل یون و اتم نقره پس از بازپخت در دما و زمان مشخص هستیم. پس از ساخت شیشه‌های تبادل یون شده، به منظور جفت کردن نور با مد موجبر تبادل یونی، لایه‌ی نازک نقره-کلریدنقره بر سطح آنها به روش تبخیر حرارتی در دمای اتاق انباشت شد. نظم‌گیری نانوذرات نقره در اثر تابش پرتو قطبیده خطی لیزر سبب تشکیل نانوتوری می‌شود که دوره‌ی تناوب و همچنین ضریب شکست مؤثر مرتبط با بستره‌ی تبادل یون آن گزارش شده است.

مرجع‌ها

[1]M. Dubiel, J. Hauga, H. Kruth, H. Hofmeister, and K. D. Schicke, “Ag/Na ion exchange in soda-lime glasses and the formation of small Ag nanoparticles,” Mater. Sci. Eng. B **149**, 146-151 (2008).

[2]R. Talebi and S. Izadi, “Investigating surface morphology of Ag-AgCl thin film by scattering pattern at normal and oblique incident angles,” Appl. Opt. **57**, 10355-10363 (2018).

[3]A. A. Ahmed, E. W. Abd Allah, “Origin of Absorption Bands Observed in the Spectra of Silver Ion-Exchanged Soda–Lime–Silica Glass," J. Am. Ceram. Soc. **78**(10), 2777-2784 (1995).

[4]P. W. Wang, “Formation of silver colloids in silver ion-exchanged soda-lime glasses during annealing,” Appl. Surf. Sci. **120**, 291-298 (1997).

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.