

تأثیر خلأ بر افزایش بازدهی پراش توری هولوگرافیک ایجاد شده در سطح لایه نازک هالید نقره

ناصر پرتوی شبستری، محمد هادی ملکی، عیسی علیدخت و بهروز محمدی

پژوهشکده لیزر و اپتیک، تهران، ایران

امیر عسگری

گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

(دریافت مقاله : ۹۰/۰۸/۱۴ - پذیرش مقاله : ۹۰/۰۹/۳۰)

چکیده

در این مقاله از لایه نازک حساس به نور هالید نقره برای ساخت توری پراش هولوگرافیک بازتابی استفاده شده است. ساخت قطعات اپتیکی هولوگرافیک بازتابی بر روی لایه نازک حساس به نور هالید نقره به خاطر نوارهای تداخلی فوق العاده ریز موجود در آن، مشکل است. مزیت اصلی این روش پردازش این است که ضبط با حساسیت بالا به کمک باریکه لیزر در ناحیه طیف مرئی انجام می‌شود. به همین دلیل در این مقاله یک روش پردازش بهینه برای ساخت قطعات اپتیکی هولوگرافیک بازتابی در محیط هالید نقره جدید معرفی شده و نهایتاً با خشک کردن در کوره خلأ، بازدهی پراش بالاتر از ۵۰٪ برای توری های پراش بازتابی ۵۱۲۰ خط در میلی متر به دست آمده است.

واژه های کلیدی: توری پراش تمام نگاشتی، ژلاتین حساس شده با هالید نقره، بازدهی پراش.

The Influence of Vacuum on increasing diffraction efficiency of holographic Silver Halide thin film grating

N. Partovi Shabestari, M. H. Maleki, E. Alidokht and B. Mohammadi

Optics & Laser Research School, Tehran, Iran

A. Asgary

Department of Physics, Amirkabir University of Technology

(Received 5 Nov 2011, accepted 21 Dec 2011)

Abstract

In this paper silver halide thin film layer is used for making holographic reflection grating. Construction of reflection gratings on silver halide thin film layer are difficult because of high spatial-frequency fringes associated with them. The main advantage of this processing technique is that recording with high-sensitivity can be performed with laser beam in the visible spectrum. Therefore in this paper an optimized processing technique for making reflection grating in the new silver halide materials is introduced and finally with drying in vacuum oven, diffraction efficiency of more than 50% is obtained for reflection gratings of 5120 lines/mm.

Keywords: Holographic Grating, Silver Halide Sensitized Gelatin, Diffraction Efficiency

E-mail of corresponding author: npartovi@aeoi.org.ir

مقدمه

در سال ۱۹۶۰ بارچ و پالمیر با کمک روشی که مایکلسون در سال ۱۹۱۵ ارائه کرده بود، توانستند اولین توری را بر روی سطح لایه نازک به روش لیتوگرافی تداخلی^۱ بسازند [۱]. توری ایجاد شده با این روش کاملاً یکنواخت بوده و به دور از اشتباهات خط کشی توری های مکانیکی می باشد. تا زمان ساخت لیزر، توری های تداخلی به دست آمده ارزش چندانی نداشتند. اولین توری های تداخلی با کمک نور لیزر توسط رودلف و اشمال در سال ۱۹۶۷ در آلمان و لیبری و فلاماند در سال ۱۹۶۹ در فرانسه به دست آمدند [۲].

لیتوگرافی تداخلی از لایه های نازک حساس به نور همچون ژلاتین حساس شده با هالید نقره استفاده می کند. سطوح لایه نازک حساس به نور ژلاتین حساس شده با هالید نقره^۲ (SHSG) مشابه ژلاتین دی کرومات^۳ (DCG) است. برای ساخت قطعات اپتیکی هولوگرافیک^۴ (HOE)، سعی بر این است که هالید نقره را طوری پردازش کنند که هولوگرام نهایی خواصی شبیه محیط DCG (محیط مطرح برای ساخت قطعات اپتیکی هولوگرافیک) داشته باشد. مزیت DCG بازدهی پراش بالا و نوبه پایین و عیب آن، حساسیت پایین و پاسخ طیفی محدود است. بنا براین توجه زیادی به سمت استفاده از روش SHSG برای ساخت این قطعات معطوف شده است. استفاده از SHSG برای HOE بازتابی کار مشکلی بوده است، چون نسبت به HOE عبوری، فرکانس فضایی خیلی بالاتری باید ضبط شود. پس از ورود امولسیونهای فوق دانه ریز به بازار توسط شرکت اسلاوی (Slavich)، این روش بیشتر مورد توجه واقع شده است. وقتی این پلیت های جدید به کار گرفته می شوند، HOE با کیفیت تقریباً معادل HOE ضبط شده در DCG می تواند به دست بیاید. برای به دست آوردن HOE بازتابی با کیفیت بالا در این محیط، روش پردازش نوینی مورد نیاز است. به خاطر طرح تداخل ریزتری

که در HOE بازتابی ضبط می شود روش پردازش پیچیده تری باید به کار گرفته شود، از این رو برای این نوع HOE فقط امولسیونهای فوق دانه ریز جدید می تواند استفاده شوند. در تکنیک ساخت HOE بازتابی به طور خلاصه، سطح لایه نازک امولسیون هالید نقره نوردی شده و سپس به گونه ای پردازش می شود که تنش موضعی در داخل امولسیون ایجاد شود. سپس در داروی ثبوت، تمام هالید نقره از امولسیون برداشته شده و فقط لایه نازک ژلاتین باقی بماند. در مرحله نهایی پردازش لایه نازک ژلاتین باقی مانده در یک محلول آب دوست، آب زدایی شده و در کوره خلاء خشک می شود.

روش پردازش به کار رفته برای ساخت توری بازتابی

در گذشته، امکان به کار بردن روش SHSG برای HOE بازتابی با مواد آگفا، کدک یا ایلفورید محدود بوده است. همان طور که در مقاله قبلی [۳] گزارش کردیم با این مواد می توان حداکثر به بازدهی پراش ۵۵٪ رسید. در حقیقت تکنیکهای SHSG برای HOE بازتابی توسط دانشمندان روسی با دستیابی به امولسیونهای هالید نقره فوق دانه ریز پایه گذاری شد. تحقیقات اصلی در این شاخه توسط اوزانو و همکاران [۴-۶] انجام گرفته و سپس در تحقیقات بعدی [۷-۱۰] بهینه شده و بازدهی بالاتر از ۹۰٪ گزارش شده است. تحقیقات آنان بر پایه ساختار کاواک میکرونی بوده و به این صورت است که ژلاتین در امولسیون عکاسی جذب سطحی دانه های هالید نقره می شود. در حقیقت فقط بخشی از مولکول ژلاتین جذب سطحی می شود. زنجیره های ژلاتینی نیز در توده امولسیون اتصال می یابند. ضخامت لایه جذب سطحی شده در امولسیون خشک ۴-۲/۵ nm است. هر دانه هالید نقره که با مولکولهای ژلاتین احاطه شده است در نقاط مختلف به گروههای فعال اتصال یافته که قادر هستند با دانه های نقره ای که در مرحله ظهور ایجاد می شوند، ترکیب کمپلکس بدهند. روش روسها بر این فرضیه پایه گذاری شده که این لایه های جذب سطحی شده، کمتر فعال هستند و سخت کردن آنها نسبت به ژلاتینهای مجاور مشکل تر خواهد بود، بنابراین اختلافی در سخت شدگی نواحی نور دیده و نور ندیده وجود خواهد داشت. پس

1. Interference Lithography

2. Silver halide sensitized gelatin

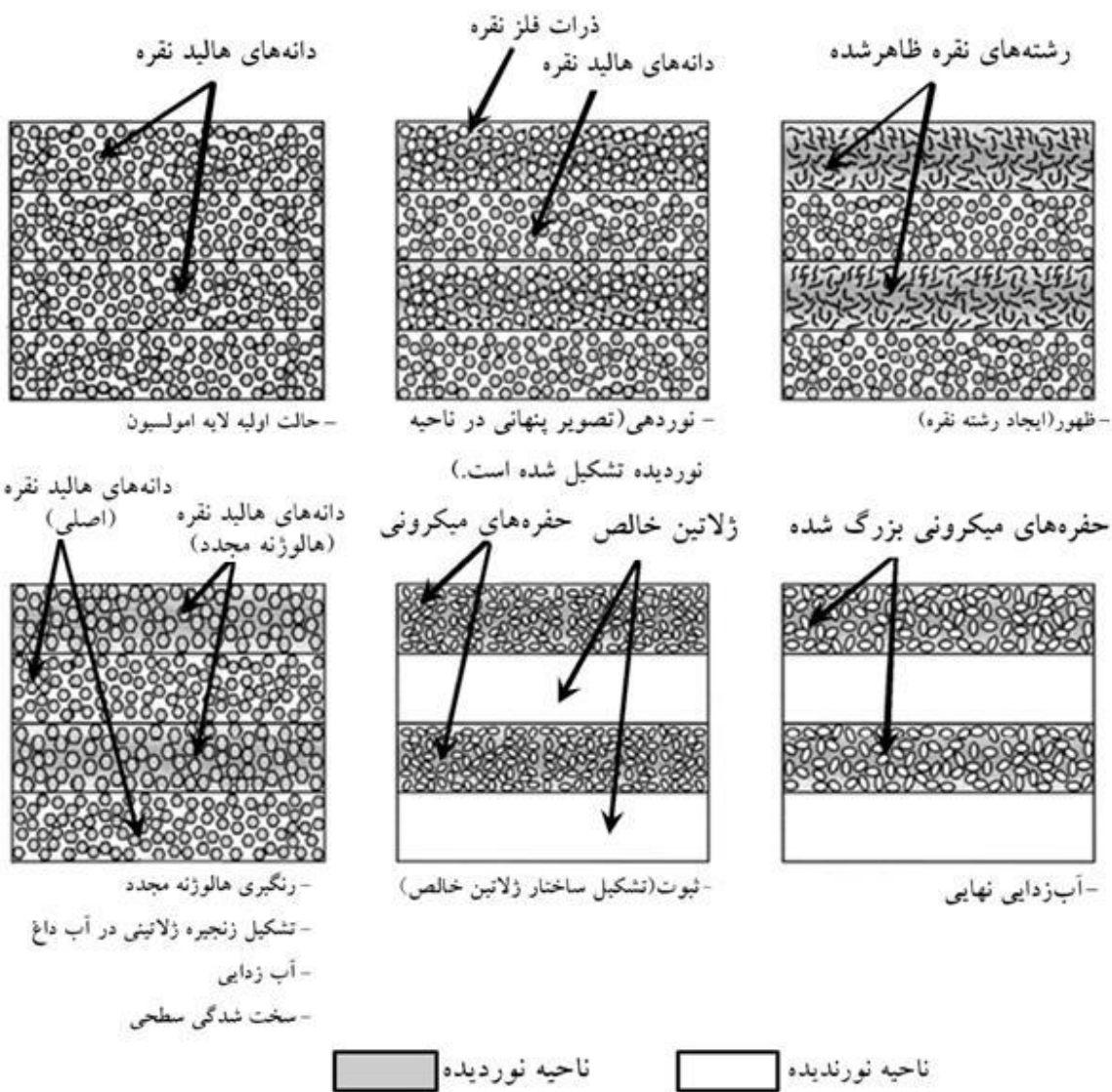
3. Dichromated gelatin

4. Holographic optical elements

چیدمان به کار رفته برای ضبط توری بازتابی

چیدمان به کار رفته برای ضبط توری بازتابی در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود، برای حذف نوارهای تداخلی مزاحم ناشی از بازتاب صفحه پشت پلیت حساس به نور، یک شیشه ضد بازتاب در پشت و یک آینه تخت در جلوی آن قرار گرفته و ما بین آنها با محلولی با ضریب شکست نزدیک به ضریب شکست امولسیون پلیت خام (زایلن) پر شده است.

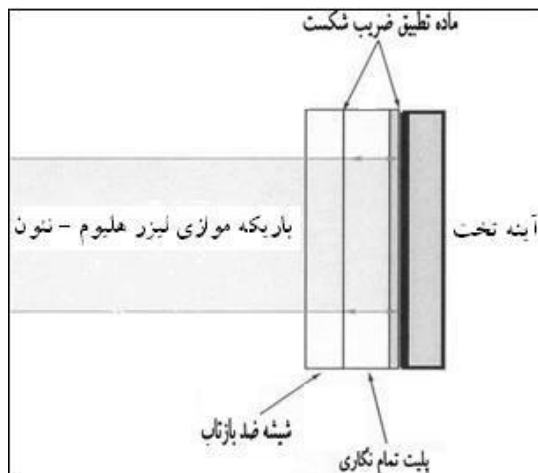
از اینکه دانه های نقره و هالید نقره از محیط بیرون کشیده می شوند، کاواکهای میکرونی باقی می ماند که مسئول تغییر ضریب شکست هستند یک نکته مهم در اینجا این است که این ماده قبل از مرحله ثبوت احتیاج به سخت شدگی اضافی دارد تا از فروپاشی کاواکهای میکرونی در مرحله ثبوت جلوگیری کند. پس از آن با درصدهای مختلف از محلول پروپانول آب زدایی شده و در نهایت در کوره خلأ خشک می شوند. توصیف نحوه عملکرد پردازش در مراحل مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است [۸].



شکل ۱. نحوه عملکرد SHSG در مراحل مختلف پردازش

نحوه پردازش

روش پردازش بهینه برای پلیتهای PFG-03C در جدول ۱ آورده شده است. همان طور که در جدول ۱ ملاحظه می شود روش پردازش نسبت به کار قبلی [۳] کاملاً تغییر کرده و امولسیون در سه مرحله سخت می شود. مرحله اول بعد از نوردی است چون امولسیون پلیتهای جدید نسبت به پلیتهای قبلی خیلی نرمتر هستند، مرحله دوم سخت کاری بعد از مرحله بلیچ است که در آب گرم قرار می گیرد تا اتصال یون کروم موجود در لایه امولسیون به ژلاتین شتاب بیشتری بگیرد و مرحله سوم سخت کاری که قبل از مرحله ثبوت است به این دلیل انجام می شود که از فروپاشی حفره های میکرونی ایجاد شده در مرحله ثبوت جلوگیری کند. در مراحل مختلف پردازش، دمای محلولها کنترل می شود تا همیشه در مقدار مورد نظر باقی بماند.



شکل ۱. چیدمان ضبط توری پراش بازتابی

بعد از اینکه پلیت را در جای خود نصب کردیم قبل از نور دهی حدود ۱۵ دقیقه صبر کردیم تا ارتعاشات محیط کاملاً از بین برود و پلیت را از پشت نوردی کردیم.

جدول ۲. محلول فرمالدئید برای مرحله سخت کنندگی ابتدایی

۱۰ ml	فرمالدئید ۳۷٪ (فرمالین)
۲ g	برمید پتاسیم
۵ g	کربنات سدیم آنهیدر
سپس با آب بدون یون، محلول را به حجم ۱ لیتر می رسانیم.	

جدول ۳. محلول ثبوت SHSG

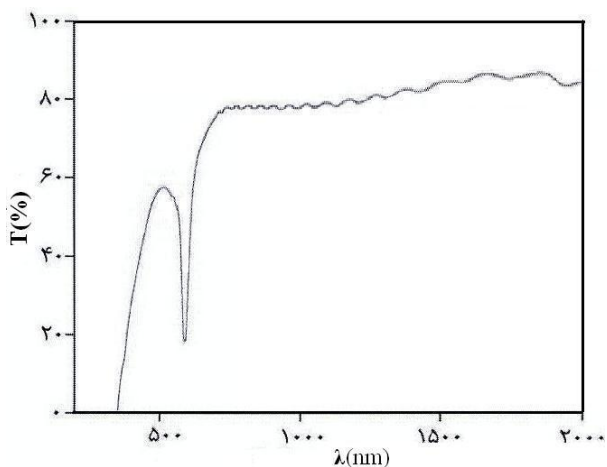
۱۰ g	تیوسولفات آمونیوم
۲۰ g	سولفات سدیم آنهیدر
سپس با آب بدون یون، محلول را به حجم ۱ لیتر می رسانیم.	

نحوه اندازه گیری بازدهی پراش

درحالی که ویژگیهای توری عبوری می تواند به سادگی با تحلیل بازدهی پراش انجام گیرد، ولی در توری های بازتابی بدون شیب به دلیل همپوشانی نورهای بازسازی و پراش یافته، این روش امکان پذیر نیست. در توری های بازتابی این کار با بررسی طیف عبوری در یک زاویه ثابت انجام می گیرد. شکل نوعی منحنی طیف عبوری به صورت شکل ۳

جدول ۱. مراحل پردازش پلیت تمام نگاری PFG-03C

مرحله	زمان (دقیقه)
۱- سخت شدگی ابتدایی در محلول فرمالدئید (جدول ۲)	۶
۲- ظهور در داروی ظهور G282 آگفا در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد	۳
۳- رنگبری در داروی رنگبر PBU-metol (رقیق شده به نسبت ۱ به ۳ با آب) (جدول ۳)	۱۵
۴- در آب گرم بدون یون در دمای ۶۰ درجه قرار دادیم	۱۰
۵- آب زدایی در:	
الکل طبی ۵۰٪	۳
الکل طبی ۱۰۰٪	۳
۶- خشک کردن در آون در دمای ۴۵ درجه	۵
۷- سخت کردن در محفظه با بخار فرمالدئید	۲۵
۸- ثبوت در محلول ثبوت SHSG (جدول ۴)	۲
۹- شستشو و آب زدایی در:	
پروپانول ۵۰٪	۵
پروپانول ۱۰۰٪	۵
۱۰- خشک کردن در آون خلا در دمای ۴۵ درجه	۳۰



شکل ۴. طیف عبوری نمونه ساخته شده در آزمایشگاه

می باشد [۱۱]. نحوه اندازه گیری بازدهی پراش η ، طول موج بازسازی λ_0 و پهنای باند $\Delta\lambda$ در روی شکل نشان داده شده است.

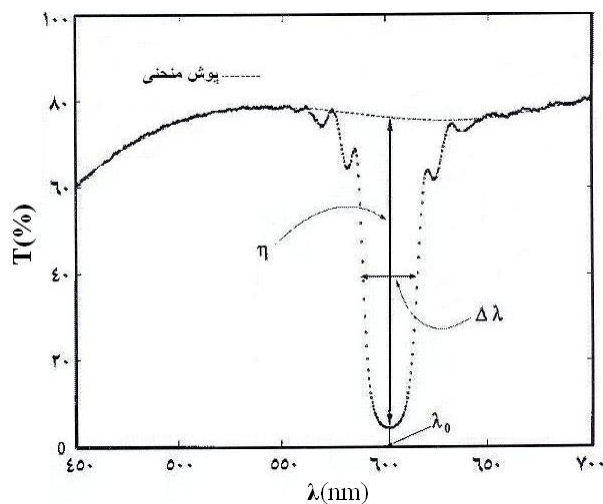
جدول ۴. داروی رنگبر هالوژنه مجدد PBU-metol

۱ g	برمید مس
۱۰ g	پتاسیم پر سولفات
۵۰ g	اسید سیتریک
۲۰ g	برمید پتاسیم
۳۰ g	براکس
۲۰ g	کروم آلوم
سپس با آب بدون یون، محلول را به حجم ۱ لیتر می‌رسانیم.	

پس از مخلوط کردن بقیه اجزاء یک گرم متول اضافه کردیم.

منابع

1. J. M. Burch, D. A. Palmer, *Interferometric method for the photographic production of large grating*, OpticaActa, 8(1961)73-80.
2. A. Labeyrie, J. Flamand, *Spectrographic performance of holographically made diffraction grating*, Optics Communication, 1(1969)5-8.
۳. ن. پرتوی شیبستری، م. جوادی، ز. حریریان، ح. مجیدی ذوالبنین، ساخت توری پراش بازتابی تمام نگاشتی، دوازدهمین کنفرانس سالیانه اپتیک و فوتونیک، (۱۳۸۴) ۳۵۷-۳۶۰.
4. Yu. E. Usanov & M. K. Shevetsov, *Principles of fabricating micropore silver-halide-gelatin holograms*, Opt. Spectrosc. (Ussr) 69(1990), 112-114.
5. Yu. E. Usanov, M. K. Shevetsov, N. L. Kosobokova and E. A. Kirienko, *Mechanism for forming a microvoid structure and methods for obtaining silver-halide-gelatin holograms*, Opt. Spectrosc. (Ussr), 71(1991), 375-379.
6. Yu. E. Usanov and M. K. Shevetsov, *The volume reflection SHG holograms: Principles and mechanism of microcavity structure formation*, Holographic Imaging and Materials, Tung H. Jeong; Ed, Proc. SPIE, 2043(1994), 52-56.
7. J. M. Kim, B. S. Choi, S. I. Kim, H. I. Bjelkhagen, and N. J. Phlips, *Holographic optical elements recorded in silver halide sensitized gelatin emulsions. Part 1. Transmission holographic optical elements*, Appl. Opt, 40(2001), 622-632.



شکل ۳. منحنی طیف عبوری یک توری بازتابی. پوش منحنی نشان دهنده طیفی عبوری امولسیون است. نحوه اندازه گیری بازدهی پراش η ، طول موج بازسازی λ_0 و پهنای باند $\Delta\lambda$ در روی شکل نشان داده شده است.

نتیجه گیری

با اعمال روش بهینه شده SHSG بر روی پلیتهای PFG-03C و در نهایت خشک کردن در کوره خلاء به بازدهی پراش بالاتر از ۵۰٪ در فرکانس فضایی ۵۱۲۰ خط در میلی متر دست یافتیم (شکل ۴) و برای حصول به بازدهی پراش بالاتر پژوهش‌های ما در این زمینه ادامه دارد.

8. J. M. Kim, B. S. Choi, S. I. Kim, H. I. Bjelkhagen, and N. J. Phlips, *Holographic optical elements recorded in silver halide sensitized gelatin emulsions. Part 2. Reflection holographic optical elements*, Appl. Opt, 41(2002), 1522-1533.
9. J. M. Kim, *Post exposure treatment method of silver halide emulsion layer, Hologram manufactured using the method, and holographic optical element including the hologram*, US Patent, 6811930(2004).
10. Nina M. Ganzherli, et al. *Phase recording for formation of holographic optical elements on silver-halide photographic emulsions*, Proc. of SPIE. 7358(2009), 735817.
11. M. Ulibarena, et. al., *Full characterization of holographic reflection gratings recorded on BB640 emulsions*, Appl. Opt., 43(2004), 4214-4224.