نانومقیاس
Nanomeghyas
www.nanomeghyas.ir

استفاده از نانوپیکسل های پلاسمونیکی برای کاربردهای امنیتی

اسماعیل حیدری

آزمایشگاه سنسورهای نانوفوتونیکی و اپتوفلویدیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
پژوهشکده علوم کاربردی،دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده: در این مقاله از نانوروزنه های پلاسمونیکی برای ساخت پیکسل های تمام رنگی با رزولوشن نانومتری استفاده شده است. در این فناوری با ترکیب نانولیتوگرافی باریکه الکترونی و زدایش خشک امکان ایجاد نانوروزنه های پلاسمونیکی در لایه های نازک آلومینیوم فراهم گشته که بعنوان نانوپیکسل های رنگی عمل می کنند. با ترکیب آرایه ای از این نانوروزنه ها با ابعاد و توالی مختلف نانوپیکسل های تمام رنگی که قابلیت ذخیره اطلاعات را دارند ایجاد شد. علاوه بر این، با استفاده از روش تفاضل محدود حوزه زمان توزیع میدان الکتریکی و قانون انتخاب در این نانوروزنه ها مورد بررسی قرار گرفت و با نتایج تجربی مقایسه شد. امکان جعل چنین سطوحی به دلیل داشتن ابعاد نانومتری و عدم دسترسی عمومی تجهیزات ساخت وجود ندارد و برای کاربردهایی امنیتی همچون ساخت کارت های اعتباری و پول مناسب هستند.

واژگان کلیدی: نانوپیکسل، پلاسمونیک، برچسب امنیتی، نانولیتوگرافی

e.heydari@khu.ac.ir, www.Photonics.ir

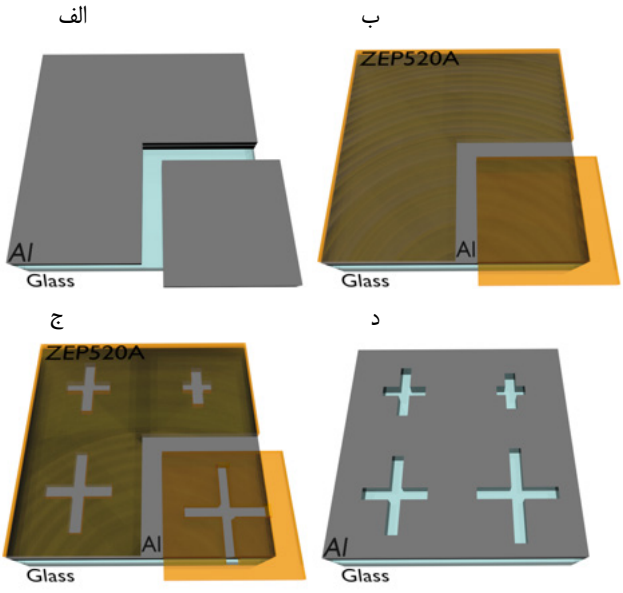
۱- مقدمه

در دو دهه اخیر، نانوذرات و نانوساختارهای پلاسمونیکی پتانسیل فراوانی برای کاربرد در علوم و صنایعی همچون بیوفوتونیک، زیست شناسی، مهندسی پزشکی و الکترونیک از خود نشان داده اند [۳-۱] و موجب شناخت پدیده های جدید و یا بهبود عملکرد در این علوم گشته‌اند. این نانوساختارها با تزویج امواج الکترومغناطیسی به رزونانس دسته جمعی الکترون‌های آزاد فلزات نجیب، همچون طلا و نقره، موجب تمرکز این امواج در ابعاد نانومتری می شوند، چیزی که پیش از این بدلیل محدودیت پراش امکان پذیر نبود [۴-۶]. این رزونانس دسته جمعی الکترون های آزاد، پلاسمون سطحی محلی نامیده می شود. از جمله کاربردهای این پلاسمون سطحی محلی در افزایش شدت فوتولومینسانس، رامان، ساخت حسگرهای زیستی و فیلترهای رنگی است. در نانوساختارهای پلاسمونیکی مثبت و یا منفی، طیف میدان روشن یا تاریک بسته به ویژگی‌های فیزیکی همچون ابعاد، شکل، جنس و ضریب شکست محیط اطراف دارد [۷]. بنابراین با تغییر این پارامترها امکان تنظیم طیف پلاسمون سطحی محلی و ایجاد فیلتر رنگی موجود می باشد. آلومینیوم یکی از مواد پلاسمونیکی است که اخیرا بدلیل هزینه پایین، امکان تنظیم طیف پلاسمونیک در تمام بازه طیف مرئی و مطابقت با فناوری نیمه هادی توجه زیادی به را خود جلب کرده است [۸]. در این مقاله از ترکیب نانولیتوگرافی باریکه الکترونی و زدایش خشک بر لایه های نازک آلومینیوم برای ساخت نانوساختارهای منفی پلاسمونیکی استفاده شده است. این نانوساختارهای نامتقارن بعنوان نانوپیکسل های قطبشی تمام رنگی عمل می‌کنند. در اینجا کاربرد ترکیب این نانوپیکسل‌های پلاسمونیکی برای ایجاد سطوح و برچسب های امنیتی تمام رنگی برای جلوگیری از جعل نشان داده شده است.

تاریخ دریافت : ۱۳۹۷/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش : ۱۳۹۷/۱۲/۲۸

۲- روش ساخت

برای ساخت، در ابتدا یک لایه ۱۰۰ نانومتری از آلومینیوم مطابق با شکل شکل ۱- الف با استفاده از روش تبخیر باریکه الکترونی بر روی یک شیشه ۵۰۰ میکرونی از جنس پیرکس لایه نشانی شد. سپس مطابق شکل ۱-ب یک لایه ۲۳۰ نانومتری از رزیست ZEP520A بعنوان ماسک زدایش با استفاده از روش لایه نشانی چرخشی بر روی لایه آلومینیوم ایجاد شد. در مرحله بعد الگوهای نانو روزنه ها که توسط نرم افزار Tanner Ledit طراحی شده بود توسط سیستم نانولیتوگرافی باریکه الکترونی Vistec VB 6 UHR EWF بر روی رزیست ایجاد شد که در شکل ۱-ج نشان داده شده است. اندازه باریکه الکترونی و رزولوشن حرکت بترتیب ۴ نانومتر و ۰/۵ نانومتر در نظر گرفته شدند. چگالی بار برای تابش $800\mu C/cm^2$ و واحد رزولوشن متغییر ۶ در نظر گرفته شدند. نمونه به مدت ۴۵ ثانیه در محلول o-Xylene با دمای ۲۳ درجه سانتیگراد قرار گرفته و سپس با استفاده از ایزوپروپانول شسته شد تا رزیست در نقاطی که تحت تابش باریکه الکترونی قرار گرفته اند پاک شود. در نهایت زدایش خشک با استفاده از گاز $SiCl_4$ در سیستم Instument System100 RIE صورت گرفت که در شکل ۱- د نشان داده شده است.



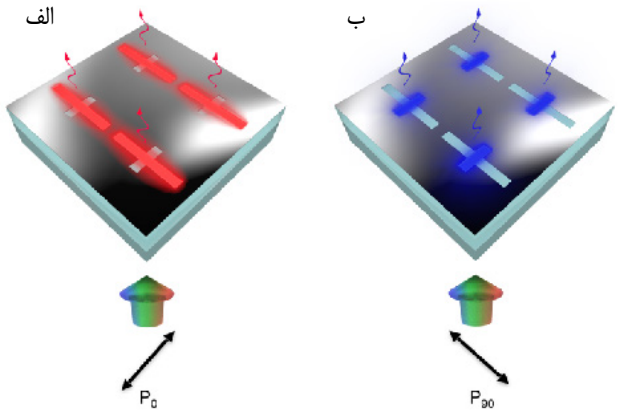
شکل ۱: مراحل ایجاد نانوپیکسل های پلاسمونیکی بر روی لایه نازک آلومینیوم .الف) لایه نشانی آلومینیوم با ضخامت ۱۰۰ نانومتر ب) لایه نشانی رزیست بعنوان ماسک زدایش ج) لیتوگرافیکی باریکه الکترونی د) زدایش خشک

برای زدایش خشک به ترتیب توان پلاسما ۱۰ وات، فشار ۵۰ میلی تور، شارش گاز ۱۰ سانتیمتر مکعب بر دقیقه و زمان زدایش ۷ دقیقه بودند.

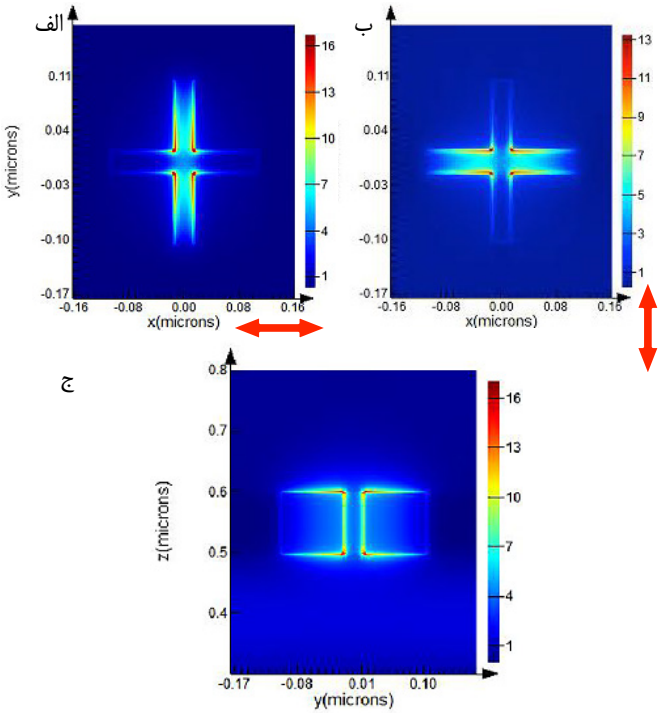
۳- بحث و نتایج آزمایش

پدیده جالبی که در این نانوساختارها روی می دهد عمود بودن قطبش نور خروجی نسبت به نور ورودی است که این بطور شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۲-الف وضعیتی را به نشان می دهد که قطبش نور سفید فرودی صفر بوده و شکل ۲-ب وضعیتی که قطبش نور سفید فرودی ۹۰ درجه است.

شکل۳ نتایج شبیه سازی توسط نرم افزار لومریکال برای نانوروزنه های عمود بر هم را نشان می دهد. در شکل ۳-الف قطبش نور سفید فرودی صفر در نظر گرفته شده است و توزیع میدان الکتریکی نور خروجی در راستای عمود بر قطبش فرودی دیده می شود. میدان الکتریکی در لبه تیز روزنه و نزدیک به تقاطع دو روزنه بزرگتر است. شکل ۳-ب توزیع میدان الکتریکی در خروجی روزنه های عمود بر هم را برای وضعیتی نشان می دهد که قطبش نور فرودی ۹۰ درجه است و مطابق با قانون انتخاب در این نانوروزنه ها قطبش نور خروجی دارای زاویه صفر است. شکل ۳-ج توزیع میدان الکتریکی در عرض نانوروزنه آلومینومی را نشان می دهد. در قسمت بالا و پایین روزنه بیشترین میزان توزیع میدان الکتریکی وجود دارد که به دلیل تزویج نور از یک سو به پلاسمون‌های سطحی محلی و



شکل ۲: عمود بودن قطبش فرودی و عبوری الف) اگر زاویه قطبش فرودی صفر باشد قطبش خروجی ۹۰ درجه است ب) اگر زاویه قطبش فرودی ۹۰ درجه باشد قطبش نور خروجی صفر است

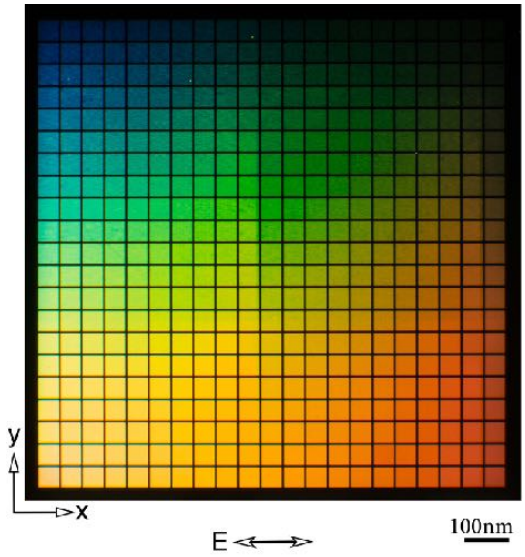


شکل ۳: توزیع میدان الکتریکی در روزنه های عمود بر هم با ابعاد ۲۰۰نانومتر در ۲۲۰ نانومتر و عرض ۳۰ نانومتر الف) نور سفید فرودی دارای زاویه قطبش صفر درجه است ب) نور سفید فرودی دارای زاویه قطبش ۹۰ درجه است ج) توزیع عرضی میدان الکتریکی در نانوروزنه های آلومینیومی

پراکندگی نور در سوی دیگر است.

در اینجا از نانوروزنه های پلاسمونیک برای فیلترکردن نور عبوری و ایجاد نانوپیکسل‌های تمام رنگی استفاده شده است. طیف رنگ عبوری از این نانوروزنه ها تابعی از طول بازو ها و دوره تناوب چیدمان آنها است. شکل ۴ آرایه ای از نانوپیکسل های پلاسمونیک با رنگهای متفاوت را نشان می دهد که با این روش ایجاد شده اند. پلاسمون ها سطحی–محلی توسط نور سفید برانگیخته شده اند. برای ایجاد این نانوپیکسل ها طول بازوی روزنه ها از بالا به پایین از ۱۲۰ نانومتر تا ۲۲۰ نانومتر و دوره آنها از چپ به راست از ۲۵۰ نانومتر تا ۳۵۰ نانومتر با پله های ۵ نانومتری افزایش یافته است. اولین نانوپیکسل که بالا سمت چپ قرار دارد و به رنگ آبی تیره است از نانو روزنه های ۱۲۰ نانومتری با دوره ۲۵۰ نانومتر ایجاد شده است و آخرین نانو پیکسل که پایین سمت راست قرار دارد و به رنگ قرمز است از نانوروزنه های ۲۲۰ نانومتری با دوره ۳۵۰ نانومتر ایجاد شده است.

شکل ۵ طیف عبوری از ۱۰ نانوپیکسل انتخابی را نشان می دهد. شکل ۵–الف اثر تغییر طول بازوی نانوروزنه ها در حالیکه دوره آنها

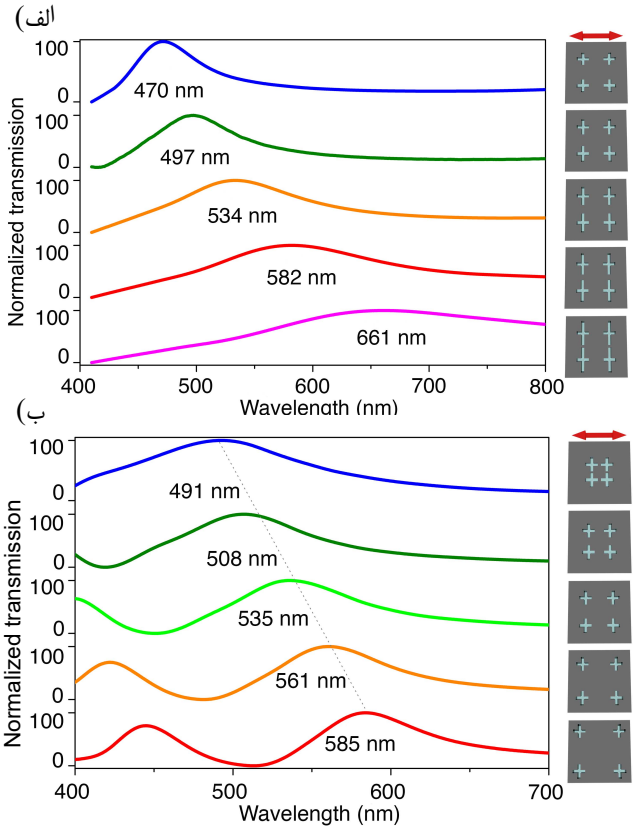


شکل ۴: آرایه ای از نانو پیکسل های تمام رنگی ایجاد شده توسط نانو روزنه های پلاسمونیک .طول بازوهای نانوروزنه ها از بالا سمت چپ از ۱۲۰ نانومتر تا ۲۲۰ نانومتر افزایش می یابد .دوره نانو روزنه ها از چپ به راست نیز از ۲۵۰ نانومتر تا ۳۵۰ نانومتر افزایش می یابد

یکسان است را نشان می دهد. این ۵ نانوپیکسل از ستون اول از سمت چپ و با فاصله ۵ نانوپیکسل انتخاب شده اند. با افزایش طول بازوی نانوروزنه ها طیف عبوری به طول موج های بلندتر جابجا می شود. افزایش طول موج طیف رزوناس همراه با پهن شدگی طیف است. این بدلیل کاهش همدوسی بین الکترونهای در حال رزونانس برای بازو هایی با طول بزرگتر است. شکل ۵–ب اثر دوره این نانوپیکسل ها را نشان می دهد در حالیکه ابعاد آنها یکسان در نظر گرفته شده است. این نانوپیکسل‌ها از ردیف دوم از بالا و از چپ به راست با فاصله ۵ نانوپیکسل انتخاب شده اند. در این شکل با افزایش دوره چیدمان نانوروزنه ها طیف عبوری از آنها به طول موج های بلند تر جابجا شده است اما پهنای رزونانس کاهش پیدا کرده است.

از مزیت های این تکنیک شامل مواردی همچون رزولوشن نانومتری، داشتن نانوپیکسل های تمام رنگی، هزینه پایین آلومینیوم، طول عمر بالا و مطابقت با فناوری های مورد استفاده در صنایع نیمه‌هادی است.

یکی از کاربردهایی که می توان برای این نانوپیکسل های رنگی در نظر گرفت پرینت کردن تصاویر و اطلاعات در ابعاد کوچک و با ظرفیت بالا است. در شکل ۶ آرایه ای از این نانوپیکسل های پلاسمونیک برای ایجاد سطوحی که برای رمزنگاری و ذخیره

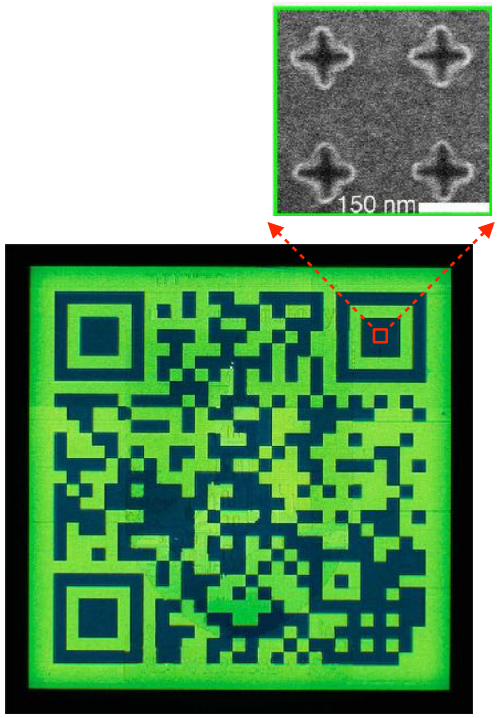


شکل ۵: طیف عبوری از نانوپیکسل‌های پلاسمونیک الف) طیف عبوری برای نانوپیکسل‌های شماره ۱، ۶، ۱۱، ۱۶ و ۲۱ در ستون اول سمت چپ از بالا به پایین ب) طیف عبوری برای نانوپیکسل های شماره ۱، ۶، ۱۱، ۱۶ و ۲۱ از ردیف دوم از سمت چپ به راست

اطلاعات در کاربردهای امنیتی و جلوگیری از جعل کاربرد دارند را نشان می دهد. این تکنولوژی برای ساخت کارت های اعتباری نسل جدید، پول، چک و اوراق بهادار دارای اهمیت است. در این مورد یک رمزینه پاسخ سریع مربع شکل با ابعاد ۷۵۰ میکرون حاوی اطلاعات رمزنگاری شده قابل مشاهده است. در این کاربرد از نانوپیکسل های رنگی آبی و سبز برای ساخت نمونه استفاده شده است. تصویر اس ای ام بزرگ شده پیکسل های آبی رنگ را نشان می دهد که از نانوروزنه هایی با طول ۱۲۰ نانومتر تشکیل شده اند.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله نشان داده شد که با تغییر و تنظیم ابعاد و دوره نانوروزنه‌های پلاسمونیک ایجاد شده در یک لایه نازک آلومینیوم امکان ایجاد نانوپیکسل های پلاسمونیک با رنگ های متفاوت در طیف مرئی وجود دارد. در ادامه یکی از کاربردهای نانوروزنه های پلاسمونیک برای ایجاد نانوپیکسل های تمام رنگی و کاربرد آنها



شکل ۶: کاربرد نانوپیکسل‌های پلاسمونیک برای رمزنگاری و ذخیره اطلاعات به منظور کاربردهای امنیتی و جلوگیری از جعل با استفاده از یک رمزینه پاسخ سریع. تصویر اس ای ام پیکسل‌های آبی رنگ را نشان می دهد که از روزنه‌هایی با طول ۱۲۰ نانومتر تشکیل شده اند

در ذخیره، رمزنگاری و ساخت سطوح و برچسب های امنیتی برای جلوگیری از جعل پول، کارت های اعتباری، چک و دیگر اوراق بهادار نشان داده شد.

مراجع

[1] Y. Gu, L. Zhang, J. K. W. Yang, S. P. Yeo, C.-W. Qiu “Color generation via subwavelength plasmonic nanostructures,” Nanoscale, 7, 6409-6419, 2015.

[2] S. Yokogawa, S. P. Burgos, H. A. Atwater, “Plasmonic color filters for CMOS image sensor applications,” Nano Letters, 12, 4349-4354, 2012.

[3] J. Olson, A. Manjavacas, L. Liu, W.-S. Chang, B. Foerster, N. S. King, M. W. Knight, P. Nord-

lander, N. J. Halas, S. Link, “Vivid, full-color aluminum plasmonic pixels,” Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 111, 14348-14353, 2014.

[4] A. S. Roberts, A. Pors, O. Albrektsen, S. I. Bozhevolnyi, "Color generation via subwavelength plasmonic nanostructures,” Nano Letters, 14, 783-787, 2014.

[5] K. Kumar, H. Duan, R. S. Hegde, S. C. W. Koh, J. N. Wei, J. K. W. Yang, “Printing colour at the optical diffraction limit,” Nature Nanotechnoly, 7, 557-561, 2012.

[6] M. Miyata, H. Hatada, J. Takahara, “Full-Color Subwavelength Printing with Gap-Plasmonic Optical Antennas,” Nano Letters, 16, 3166-3172, 2016.

[7] K. L. Kelly, E. Coronado, L. L. Zhao and G. C. Schatz, “The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment” Journal of Physical Chemistry B, 2003, 107, 668-677, 2003.

[8] J. T. Shawn, L. Zhang, D. Zhu, X. M. Goh, Ying Min Wang, K. Kumar, C. W. Qiu, J. K. W. Yang, “Plasmonic Color Palettes for Photorealistic Printing with Aluminum Nanostructures,” Nano Letters, 14, 4023-4029, 2014.

Nanomeghyas
www.nanomeghyas.ir
نانومقیاس

Plasmonic Nano-pixels for Security Applications

E. Heydari

Naophotonic Sensors and Optofluidics Lab, Faculty of Physics, Kharazmi University, Tehran, Iran
Applied Science Research Center, Kharazmi University, Tehran, Iran

Abstract: In this paper, we developed full-color nano-pixels with a nanoscale resolution based on plasmonic nano-slits. For this purpose, we combine electron beam lithography and dry etching nanotechnologies to nanofabricate plasmonic nano-slits behaving as polarization-dependent nano-pixels. Arrays of this nano-pixels with different lengths and periods are used for generation of different colors and consequently storing information. In addition, finite-difference time domain method is used to investigate the selection rule and the electric field distributions in these plasmonic nano-slits and compared them with the experimental results. It is revealed that the electric field distribution is perpendicular to the polarization of the excitation white light and the concentration is on the sharp edges close to the center of the nano-slits on the top and the bottom sides. These plasmonic surfaces are promising for anti-counterfeiting applications due to their nanoscale details, lack of the public access to the fabrication equipment and fabrication expertise. Therefore, these plasmonic surfaces have a great potential to be used for development of the next generation of credit cards, security labels and bank notes.

Keywords : Nano-pixels, Plasmonic, Security labels ,Nanolithography

*Corresponding Author: *e.heydari@khu.ac.ir, www.Photonics.ir*