

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک

و فوتونیک ایران و چهاردهمین

کنفرانس مهندسی و فناوری

فوتونیک ایران،

دانشگاه شهید چمران اهواز،

خوزستان، ایران.

۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰



## ارزیابی رفتار اپتیکی نانوساختار آلومینیم

مریم قلی زاده آرشتی<sup>۱\*</sup>، مهسا فخرپور<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup>-گروه فیزیک، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران

<sup>۲</sup>- گروه فیزیک، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران.

چکیده - در این مقاله رفتار نانوساختار آلومینیم با مورفولوژی زیگزاگی تحت نور تابشی پلاریزه خطی با استفاده از روش ماتریس انتقال بدست آمد. برای نانوساختار با تعداد بازوی بیشتر از ۴، تحت نور پلاریزه S و در زاویه تابشی ۶۰°، قله های براگ دیده شدند که تعداد آن به پیوند ساختار وابسته است. همچنین در طیف جذبی قطبش P، با افزایش تعداد بازو بسته به طول بازوی موثر در راستای میدان الکتریکی قله ها بسمت طول موجهای بلندتر یا کوتاهتر جابجا شدند. کلید واژه- آلومینیم، ماتریس انتقال، نانوساختار، نور پلاریزه.

## Evaluation of optical behavior of aluminum nanostructure

Maryam Gholizadeh Arashti<sup>1\*</sup>, Mahsa Fakharpour<sup>2</sup>

1\*. Department of Physics, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. m.gholizadeh@iausr.ac.ir

2. Department of Physics, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran. Mahsa.fakharpour@maybodiau.ac.ir

**Abstract-** In this paper, the behavior of aluminum nanostructure with zigzag morphology under linear polarized incident light were obtained by the transmission matrix method. For nanostructure by the arms more than 4, under s-polarized light, and incident light angle 60°, Bragg peaks were observed, that the numbers depend on the period of the structure. Also, in absorption spectra for p-polarization by increasing the number of arms, depend on the length of effective arm in the direction of the electric field, the peaks shift towards longer or shorter.

**Keywords:** Aluminum, transmission matrix, nanostructure, polarized light.

## مقدمه

در سالهای اخیر، لایه‌های نازک آلومینیم به دلیل خواص ساختاری، اپتیکی، الکتریکی و سادگی در ساخت کاربرد زیادی در قطعات اپتوالکترونیک پیدا کرده است [۱-۳]. روش لایه‌نشانی مایل (OAD) oblique angle deposition نیز روشی است که برای ساخت لایه نازک متخلخل با خواص ناهمسانگردی با اشکال هندسی مختلف ماریچ، زیگزاگ، نانوجل و ... که کاربرد زیادی در صفحات کاهش سرعت اپتیکی، کریستال‌های با گاف فوتونیک سه بعدی، پلاریزورهای لایه نازک دوشکستی و غیره دارند، می‌باشد [۴-۵]. برای تعیین خواص اپتیکی لایه‌های نازک ناهمسانگرد با مورفولوژی متفاوت از روشهای تئوری مختلفی از جمله ماتریس انتقال می‌توان استفاده کرد که در این روش از فرمول بروگمن برای همگن‌سازی محیط کامپوزیت لایه‌ها که از دو ماده فلز و تخلخل است، استفاده می‌شود و خواص موثر دی‌الکتریک لایه به دست می‌آید [۶]. در این تحقیق از روش ماتریس انتقال برای تعیین خواص اپتیکی لایه نازک زیگزاگی آلومینیم که تحت تابش نور تابشی پولاریزه خطی S و P بر نانوساختار با تعداد و طول بازوهای مختلف قرار گرفته است، استفاده می‌شود.

## تئوری و محاسبات

شکل (۱)، نانوساختار را نشان می‌دهد که تحت تابش موجی تختی با زاویه تابش  $\theta$  نسبت به محور Z و زاویه سمتی  $\phi$  نسبت به محور X در صفحه XY قرار دارد. فازورهای میدان الکتریکی بصورت زیر است:

$$\begin{cases} \underline{E}_{inc} = (a_s \underline{s} + a_p \underline{p}_+) e^{ik_0 z \cos \theta} \exp(i(kx \cos \psi + ky \sin \psi)) & z \leq 0 \\ \underline{E}_{ref} = (r_s \underline{s} + r_p \underline{p}_-) e^{-ik_0 z \cos \theta} \exp(i(kx \cos \psi + ky \sin \psi)) & z \leq 0 \\ \underline{E}_{tr} = (t_s \underline{s} + t_p \underline{p}_+) e^{ik_0(z-L) \cos \theta} \exp(i(kx \cos \psi + ky \sin \psi)) & z \geq L \end{cases} \quad (1)$$

در معادله فوق برای مولفه‌های قطبش داریم:

$$\begin{cases} \underline{s} = -\underline{u}_x \sin \psi + \underline{u}_y \cos \psi \\ \underline{p}_\pm = \mp(\underline{u}_x \cos \psi + \underline{u}_y \sin \psi) \cos \theta + \underline{u}_z \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

$(a_s, a_p)$ ،  $(r_s, r_p)$  و  $(t_s, t_p)$  اندازه دامنه‌های موج تخت تابشی، انعکاسی و انتقالی هستند. در مختصات کاترین:

$$\begin{cases} \underline{r} = x \underline{u}_x + y \underline{u}_y + z \underline{u}_z \\ \underline{k}_0 = k_0 (\sin \theta \cos \psi \underline{u}_x + \sin \theta \sin \psi \underline{u}_y + \cos \theta \underline{u}_z) \end{cases} \quad (3)$$

با حل معادله ماتریس انتقال و با استفاده از پیوسته بودن در مرز برای مولفه‌های مماس میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی، دامنه انتقال و انعکاس بصورت زیر بدست می‌آید:

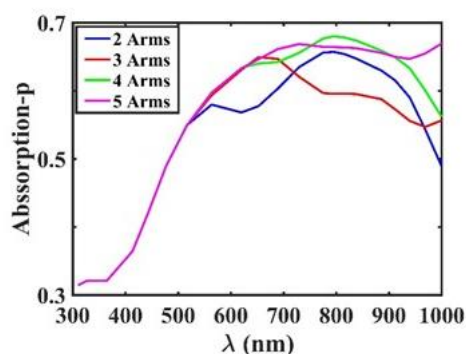
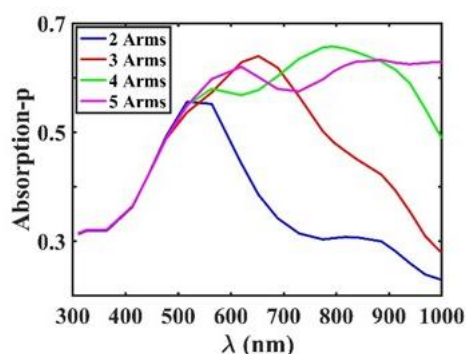
$$\begin{bmatrix} t_s \\ t_p \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = [\underline{K}(\theta, \psi)]^{-1} \cdot [\underline{M}(d, k, \psi)] \cdot [\underline{K}(\theta, \psi)] \cdot \begin{bmatrix} a_s \\ a_p \\ r_s \\ r_p \end{bmatrix} \quad (4)$$

تعداد بازوها  $N$  ضخامت لایه  $d = N t_z$  و ضخامت یک بازوی زیگزاگی  $t_z$  است. ماتریس انتقال لایه نازک ستونی با ضخامت  $t$ ،  $e^{i[\underline{P}]} t$  است. بنابراین، ماتریس انتقال یک نانوساختار زیگزاگی بصورت زیر تعریف می‌شود [۷]:

$$[\underline{M}]_{zigzag} = [\underline{M}]_N [\underline{M}]_{N-1} \dots [\underline{M}]_2 [\underline{M}]_1 \quad (5)$$

در آن  $[\underline{M}]_i = e^{i[\underline{P}(\zeta, \chi, \lambda_0, \theta, \phi)] t}$ ،  $i = 1, 2, \dots, N$  می‌باشد.  $\zeta$  و  $\chi$  زوایای چرخش بازوها حول محور Z و زاویه رشد ستون نسبت به صفحه XY است. با استفاده از ماتریس انتقال معادله ۵ و جایگذاری  $[\underline{M}(d, k, \phi_{inc})]$  بجای  $[\underline{M}]_{zigzag}$  در معادله ۴، برای دامنه‌های انتقال و انعکاس داریم:

$$\begin{bmatrix} r_s \\ r_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{ss} & r_{sp} \\ r_{ps} & r_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_s \\ a_p \end{bmatrix} \quad (6)$$



شکل (۲): طیف جذبی لایه نازک با طول ۳۰ و ۶۰ نانومتر، تعداد بازوی ۲ تا ۵ و زاویه تابشی و سمتی صفر درجه

در شکل (۲) در لایه نازک زیگزآگی با طول بازوی ۳۰ nm سه قله ۸۳۷ nm، ۵۴۰ و ۳۲۶ مشاهده می شود و با افزایش تعداد بازو به ۳، قله ها به جز ۳۲۶ nm به سمت طول موج های قرمز انتقال یافته اند و سپس با افزایش تعداد بازو به ۴، انتقال به سمت طول موج های آبی و در نهایت با افزایش بازو به ۵، انتقال قله ها به سمت طول موج های قرمز را داریم. این رفتار برای نانوساختار زیگزآگی با طول ۶۰ nm نیز مشاهده می شود. با افزایش تعداد بازو از ۲ به ۳ و از ۴ به ۵، طول بازوی موثر که در راستای میدان الکتریکی قرار می گیرد افزایش یافته است. بنابراین، قله ها به سمت طول موج های قرمز انتقال می یابند و با افزایش تعداد بازو از ۳ به ۴، طول موثر بازو کاهش یافته است بنابراین، قله ها به سمت طول موج های آبی انتقال می یابند.

در شکل (۳) نمودار طیف های بازتاب و عبور هم قطبش برای نانوساختار با تعداد بازوهای ۴، ۸ و ۱۶ رسم شده است. در این قسمت زاویه تابش ۶۰ درجه (نزدیک به زاویه

$$\begin{bmatrix} t_s \\ t_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{ss} & t_{sp} \\ t_{ps} & t_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_s \\ a_p \end{bmatrix} \quad (۷)$$

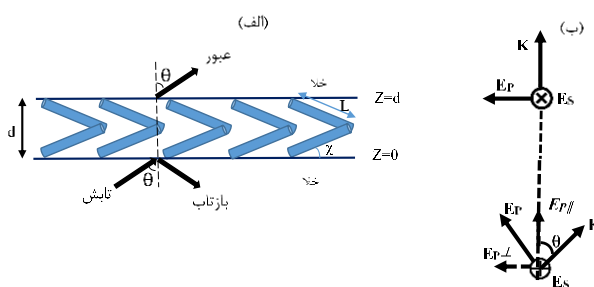
ضریب انتقالی  $t_{xy}$  و انعکاسی  $r_{xy}$  برای محاسبه انعکاس ضریب  $R_{sp} = |r_{sp}|^2$  و انتقال  $T_{sp} = |t_{sp}|^2$  استفاده می شوند. در صورتی که یک لایه نازک تضعیف کننده امواج باشد، طبق قانون پایستگی انرژی نامعادله زیر برقرار است:

$$\begin{cases} R_{ss} + R_{ps} + T_{ss} + T_{ps} < 1 \\ R_{pp} + R_{sp} + T_{pp} + T_{sp} < 1 \end{cases} \quad (۸)$$

جذب اپتیکی را بصورت زیر داریم:

$$A_i = 1 - \sum_{j=s,p} R_{ji} + T_{ji}, i = s, p \quad (۹)$$

در نانوساختار شکل (۱)، هر ستون بشکل رشته ای از بیضیگون های بلند در نظر گرفته میشود. در محاسبات زاویه رشد ستون ها ۳۰ درجه و کسر حجمی آلومینیم ۰/۲ انتخاب شده است.



شکل (۱): (الف) نانوساختار زیگزآگی آلومینوم (ب) جهت گیری نور تابشی و مولفه های میدان الکتریکی

## بحث و بررسی

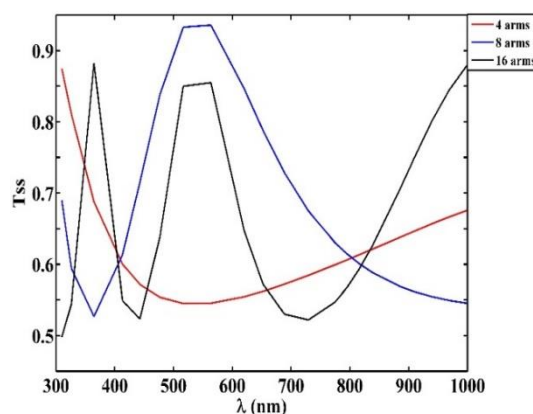
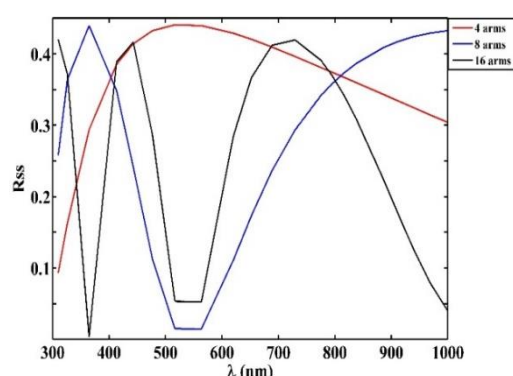
در شکل (۲)، طیف جذبی برای زاویه تابشی و زاویه سمتی صفر درجه، تعداد بازوی ۲ تا ۵ و طول ۳۰ و ۶۰ نانومتر بدست آمده است.

استفاده از روش ماتریس انتقال بدست آمد. برای نانوساختار با تعداد بازوی بیشتر از ۴، و نور تابشی پلاریزه S و در زاویه تابشی ۶۰ درجه قله های براگ دیده میشود که تعداد آن به پیود ساختار وابسته است. همچنین در طیف جذبی قطبش P، برای زاویه تابشی صفر درجه و طول بازوی ۳۰ نانومتر سه قله دیده شد که با افزایش تعداد بازو از ۲ به ۳ و از ۳ به ۴ و از ۴ به ۵ بجز قله ۳۲۶ نانومتری، باقی بسمت طول موجهای بلندتر، کوتاهتر و بلندتر جابجا میشوند.

### مرجع ها

- [1] S.B Mansoor, and B.S Yilbas, Opt."Phonon transport in a curved aluminum thin film due to laser short plus irradiation", Laser Technol, Vol. 101, pp.107-115,2018
- [2] D Vandembroucq, A Tarrats, J.J Greffet, S Roux, F Plouraboué,"Light scattering from cold rolled aluminum surfaces", Opt. Commun., Vol. 187, No. 4-6, pp. 289-294, 2001
- [3] C.H Cheung, A.B Djurišić, C.Y Kwong, H.L Tam, K.W Cheah, Z.T Liu, W.K Chan, P.C Chui, J Chan, A.D Rakić, "Reduced angular dependence of the emission from tris (8-hydroxyquinoline) aluminum based microcavity." Opt. Commun., Vol. 284, No. 1-3, pp287-293, 2005
- [4] D Vick, T Smy, M J Brett, "Growth behavior of evaporated porous thin films." J. Mater. Res., Vol. 17, No. 11, pp. 2904-2911, 2002
- [5] T Motohiro and Y Taga, "Thin film retardation plate by oblique deposition." Appl. Opt, Vol. 28, No. 13, pp. 2466-2482,1989
- [6] J. A Sherwin, A Lakhtakia, B Michel, "Homogenization of similarly oriented, metallic, ellipsoidal inclusions using the Bruggeman formalism." Opt. Commun. Vol. 178, No. 4-6, pp. 267-273, 2000
- [7] F Babaei, "On optical rotation and selective transmission in ambichiral sculptured thin films." J. Mod. Opt., Vol. 60, No. 16, pp.1370-1375,2013.

بروستر) درنظر گرفته شده است. دیده میشود که در نانوساختار با ۴ بازو یک قله براگ، با ۸ بازو دو قله براگ و با ۱۶ بازو سه قله براگ وجود دارد. در نتیجه قله براگ به پیود ساختار و زاویه نور تابش شده وابسته است. بنابراین پیود ساختار زیگزگی آلومینیم ۴ بازو است و به ازای هر ۴ بازو یک قله براگ ایجاد میشود. با افزایش تعداد بازو شدت قله های ایجاد شده در طیف بازتاب تغییر نمیکند و تنها تعداد قله های طیف بازتاب افزایش می یابد.



شکل (۳): طیف بازتاب و عبور هم قطبش برای زاویه تابش ۶۰ و زاویه سمتی صفر و تعداد بازوی ۴، ۸ و ۱۶

### نتیجه گیری

در این مقاله خواص اپتیکی نانوساختارهای آلومینیم با مورفولوژی زیگزگی تحت نور تابشی پلاریزه خطی با