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[1*]، مهسا فخارپور[2]

۱*-گروه فیزیک، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران
۲- 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 پریود 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[1*], Mahsa Fakharpour[2]

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, nuder 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.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

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[۳-۱]. روش لایه‌نشانی مایل oblique angle deposition (OAD) نیز روشی است که برای ساخت لایه نازک متخلخل با خواص ناهمسانگردی با اشکال هندسی مختلف مارپیچ، زیگزاگ، نانوگل و ... که کاربرد زیادی در صفحات کاهش سرعت اپتیکی، کریستال‌های با گاف فوتونیک سه بعدی ، پلاریزورهای لایه نازک دوشکستی و غیره دارند، می-باشد[۵-۴]. 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 لایه ها 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 θ نسبت به محور z و زاویه سمتی ϕنسبت به محور x در صفحه xy قرار دارد. فازورهای میدان الکتریکی بصورت زیر است:

$$\begin{cases} \underline{E}_{inc} = (a_s \underline{s} + a_p \underline{p}_+) e^{\,ik_0 z\cos\theta} \exp(i\,(kx\cos\psi + ky\sin\psi)) & z \le 0 \\ \underline{E}_{ref} = (r_s \underline{s} + r_p \underline{p}_-) e^{\,-ik_0 z\cos\theta} \exp(i\,(kx\cos\psi + ky\sin\psi)) & z \le 0 \\ \underline{E}_{tr} = (t_s \underline{s} + t_p \underline{p}_+) e^{\,ik_0 (z-L)\cos\theta} \exp(i\,(kx\cos\psi + ky\sin\psi)) & z \ge d \end{cases} \quad (۱)$$

در معادله فوق برای مولفه های قطبش داریم:

$$\begin{cases} \underline{s} = -\underline{u}_x \sin\psi + \underline{u}_y \cos\psi \\ \underline{p}_\pm = \mp(\underline{u}_x \cos\psi + \underline{u}_y \sin\psi)\cos\theta + \underline{u}_z \sin\theta \end{cases} \quad (۲)$$

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

$$\begin{cases} \underline{r} = x\underline{u}_x + y\underline{u}_y + z\underline{u}_z \\ \underline{k}_0 = k_0\left(\sin\theta\cos\psi\,\underline{u}_x + \sin\theta\sin\psi\,\underline{u}_y + \cos\theta\,\underline{u}_z\right) \end{cases} \quad (۳)$$

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

$$\begin{bmatrix} t_s \\ t_p \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \left[\underline{\underline{K}}(\theta,\psi)\right]^{-1} . \left[\underline{\underline{M}}(d,k,\psi\right] . \left[\underline{\underline{K}}(\theta,\psi)\right] . \begin{bmatrix} a_s \\ a_p \\ r_s \\ r_p \end{bmatrix} \quad (۴)$$

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 ، $e^{i[\underline{\underline{P}}]t}$ است. بنابراین، ماتریس انتقال یک نانوساختار زیگزاگی بصورت زیر تعریف می‌شود[۷]:

$$\left[\underline{\underline{M}}\right]_{zigzag} = \left[\underline{\underline{M}}\right]_N \left[\underline{\underline{M}}\right]_{N-1} \ldots \left[\underline{\underline{M}}\right]_2 \left[\underline{\underline{M}}\right]_1 \quad (۵)$$

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

$$\begin{bmatrix} r_s \\ r_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{ss} & r_{sp} \\ r_{ps} & r_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_s \\ a_p \end{bmatrix} \quad (۶)$$

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

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

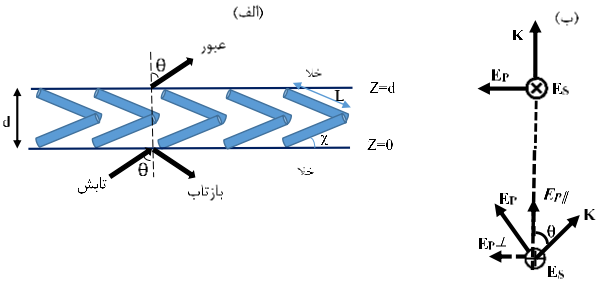
ضریب انتقالی t_{xy} و انعکاسی r_{xy} برای محاسبه انعکاس $R_{sp} = |r_{sp}|^2$ و انتقال $T_{sp} = |t_{sp}|^2$ استفاده می‌شوند. در صورتی که یک لایه نازک تضعیف‌کننده امواج باشد، طبق قانون پایستگی انرژی نامعادله زیر برقرار است :

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

جذب اپتیکی را بصورت زیر داریم:

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

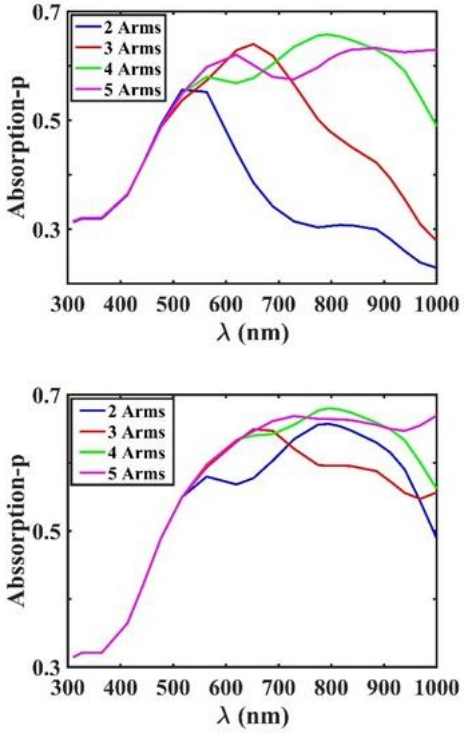
در نانوساختار شکل (۱)، هر ستون بشکل رشته ای از بیضیگون‌های بلند درنظر گرفته میشود. در محاسبات زاویه رشد ستون ها ۳۰ درجه و کسر حجمی آلومینیم ۰/۲ انتخاب شده است.



شکل (۱): الف) نانوساختار زیگزاگی آلومینیوم 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.



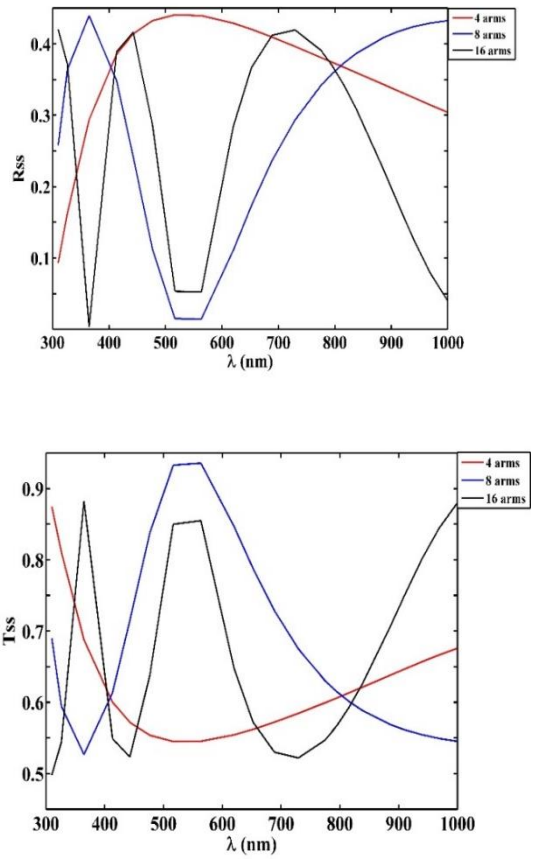
شکل (۲): طیف جذبی لایه نازک با طول ۳۰ و ۶۰ نانومتر ،تعداد بازوی ۲ تا ۵ و زاویه تابشی و سمتی صفر درجه

در شکل (۲) در لایه نازک زیگزاگی با طول بازوی ۳۰ nm سه قله ۸۳۷ nm، ۵۴۰ و ۳۲۶ مشاهده می‌شود و با افزایش تعداد بازو به ۳ ، قله‌ها به جز ۳۲۶ nm به سمت طول‌موج-های قرمز انتقال یافته اندو سپس با افزایش تعداد بازو به ۴ ، انتقال به سمت طول موج‌های آبی و در نهایت با افزایش بازو به ۵ ، انتقال قله‌ها به سمت طول موج‌های قرمز را داریم. این رفتار برای نانوساختار زیگزاگی با طول ۶۰nm نیز مشاهده می‌شود. با افزایش تعداد بازو از ۲ به ۳ و از ۴ به ۵ ، طول بازوی موثر که در راستای میدان الکتریکی قرار می‌گیرد افزایش یافته است. بنابراین، قله‌ها به سمت طول موج‌های قرمز انتقال می‌یابند و با افزایش تعداد بازو از ۳ به ۴ ، طول موثر بازو کاهش یافته است بنابراین، قله‌ها به سمت طول موج‌های آبی انتقال می‌یابند.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

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 پریود ساختار و زاویه نور تابش شده وابسته است. بنابراین پریود ساختار زیگزاگی 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 زیگزاگی تحت نور تابشی پلاریزه خطی با 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 پریود 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.

مرجع‌ها

[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 Djuriši´c, C.Y Kwong, H.L Tam, K.W Cheah, Z.T Liu, W.K Chan, P.C Chui, J Chan, A.D Raki´c, "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.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]