

بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران ۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



تأثير ضخامت بر مشخصات اپتيكى پرمالوى

نرگس انصاری^{(*}، ایمان خادمی^۲، محمدمهدی طهرانچی^{۳۹۲}

^۱ گروه فیزیک دانشگاه الزهرا، ونک، تهران ^۲ پژوهشکده لیزر و پلاسما ، دانشگاه شهید بهشتی، تهران ^۳ دانشکده فیزیک ، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده – بیضیسنجی طیفی به عنوان روشی اُپتیکی برای اندازهگیری ضریب شکست و ضریب خاموشی مورد استفاده قرار گرفته است. در بازهی طول موجی ۲۰۰*nm* تا ۹۰۰*nm* برای نمونهی پرمالوی، Ni₈₀Fe₂₀، با ضخامتهای ۱۰*nm* و ۲۰۰*nm ضریب شکست و ضریب* خاموشی با مدل پاشندگی کلاسیک برازش شده و اثر ضخامت بر روی این دادهها بررسی شده است.

كليد واژه- بيضى سنجى، پرمالوى، ضخامت ، مدل پاشندگى كلاسيك.

Effect of Thickness on Optical properties of Permalloy

N. Ansari¹, I. Khademi² and M. M. Tehranchi^{2,3}

¹ Department of Physics, Alzahra University, Tehran

² Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran

³ Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract- Spectral ellipsometry is presented as an optical technique for measurement of refractive index and extinction coefficient. Spectral ellipsometry between 200 nm and 900 nm of optical wavelength is measured for 10nm and 200nm of permalloy layers, $Ni_{80}Fe_{20}$. Based on classical dispersion the obtained data are analyzed and is fitted for the measured wavelengths and so the effect of thickness on extinction coefficient is explored.

Keywords: classical dispersion model, ellipsometry, permalloy, thickness.

۱– مقدمه

کوچک کردن حجم قطعات الکترونیکی در رایانهها و دیگر ابزارهای الکترونیکی بسیار حائز اهمیت است به طوریکه در سالهای اخیر شاهد کاهش ضخامت قطعات تا مرتبهی نانومتر بودهایم. با توجه به ارتباط نزدیک لایههای مغناطیسی با ابزارهای الکترونیکی به سبب استفاده در تولید پردازنده، ابزارهای ذخیره اطلاعات و غیره، سعی در كاهش ضخامت این لایهها شده است. با كاهش ضخامت لايەھاى مغناطيسى مىتوان ابزارھاى كوچكترى توليد كرد كه مهمترين دستاورد آنها كاهش اتلاف انرژى است. ویژگی لایههای مغناطیسی بسیار وابسته به ضخامت است تا جایی که با تغییر ضخامت یک لایه می توان مقدار دسترسی به مگنتوتنگش [۱] و یا ویژگیهای مگنتواُیتیکی آن مانند چرخش کر ٔ و چرخش فارادی ٔ را دستخوش تغییر قرار داد. در نتیجه باید اثرات تغییر ضخامت را بر ویژگیهای لایهی مغناطیسی دانست. در این گزارش اثر ضخامت بر ثابتهای اُپتیکی پرمالوی Ni₈₀Fe₂₀ که در لایههای مغناطیسی با کاربرد مگنتوتنگشی و مگنتو اُپتیکی بسیار پرکاربرد است بررسی شده است. برای این هدف از روش بیضی سنجی طیفی [۲و۳] که روشی غیرمخرب است، استفاده شدهاست.

۲- تئوری

۲-۱- بیضیسنجی

بیضی سنجی، روشی اُپتیکی بر پایه ی اندازه گیری تغییر قطبش نور بازتاب شده از نمونه است. با استفاده از این روش، پارامترهای ψ و Δ که به ترتیب نسبت دامنه و اختلاف فاز دو مؤلفه ی عمودی (S)⁷ و مماسی (P)^۵ نور نسبت به صفحه ی تابش می باشند، انداره گیری می شوند و با رابطه ی

$$\rho = \tan\left(\psi\right) exp\left(-i\,\Delta\right) = \frac{r_p}{r_s},\tag{1}$$

² Kerr Rotation

⁴ Senkrecht (perpendicular)

داده می شود [۴] که
$$r_p e_s r_p e_s$$
 به ترتیب ضرایب فرنل برای
موج P و S است.
پارامترهای بیضی سنجی از شدت نور بازتابی در روش
تحلیلگر^{*} چرخان، در چیدمان {قطبشگر^۲، نمونه، تحلیلگر
چرخنده}^۸ با رابطهی
(۲)
 $I = |E_{fp}|^2 + |E_{fs}|^2 = I_1(1 + \alpha \times \cos 2A + \gamma \times \sin 2A),$

استخراج می شود که
$$lpha$$
 و eta برابر با

$$\alpha = \frac{\cos(2P) - \cos(2\psi)}{1 - \cos(2p)\cos(2\psi)},\tag{(7)}$$

$$\gamma = \frac{\sin(2\psi)\cos(\Delta)\sin(2P)}{1 - \cos(2p)\cos(2\psi)},\tag{f}$$

است. شدت نور بازتابی، مجذور میدان الکتریکی آشکارشونده، با ماتریس جونز به میدان الکتریکی اولیه، عنصرهای اُپتیکی چیدمان و خواص اُپتیکی نمونه به صورت

$$E_f = PSA_R E_i \tag{(a)}$$

$$\begin{pmatrix} E_{fp} \\ E_{fs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos^2 \theta_A & \cos \theta_A \sin \theta_A \\ \cos \theta_A \sin \theta_A & \sin^2 \theta_A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_p & 0 \\ 0 & r_s \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} \cos^2 \theta_P & \cos \theta_P \sin \theta_P \\ \cos \theta_P \sin \theta_P & \sin^2 \theta_P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{ip} \\ E_{is} \end{pmatrix}$$

مربوط است. که $heta_A$ ، $heta_A$ به ترتیب زاویهی قطبشگر و تحلیلگر نسبت به صفحهی تابش و E_i ، E_f به ترتیب میدان آشکار شده و میدان اولیه میباشد.

ساختار لایه نازک، از محیط پیرامون، فیلم و زیر لایه تشکیل می شود که در شکل ۱ نشان داده شده است. برای این نوع ساختار نسبت نور بازتابی کل را می توان به صورت حاصل جمع بازتاب های متوالی از مرز مشترک لایه ها بدست آورد[2] که نتیجهی آن رابطهی

³ Faraday Rotation

⁵ Parallel

⁶ Analyzer

⁷ Polarizer

⁸ PSA_R

$$r_{s,p} = \frac{r_{01}^{s,p} + r_{12}^{s,p} e^{-j2\beta}}{1 + r_{01}^{s,p} r_{12}^{s,p} e^{-j2\beta}},$$
(7)

با مقادير

$$\beta = 2\pi \left(\frac{d}{\lambda}\right) N_1 \cos(\phi_1), \tag{Y}$$

$$r_{ij}^{s} = \frac{N_{i}\cos\phi_{i} - N_{j}\cos\phi_{j}}{N_{i}\cos\phi_{i} + N_{j}\cos\phi_{j}},$$
 (A)

$$r_{ij}^{p} = \frac{N_{j}\cos\phi_{i} - N_{i}\cos\phi_{j}}{N_{j}\cos\phi_{i} + N_{i}\cos\phi_{j}},\tag{9}$$

میباشد که r_{ij} ضریب فرنل مرز مشترک لایه ی i و i ، میباشد که r_{ij} ضریب شکست β اختلاف فاز ناشی از اختلاف راه N_i ، مریب شکست. لایه ی i ام و ϕ_i زاویه ی انتشار نور در لایه ی i ام است. ϕ_0 محیط پیرامون ϕ_0 محیط پیرامون ϕ_0 محیط پرامون ϕ_1 محیط پرامون ϕ_1 محیط پرامون ϕ_2

شکل ۱: مدل اپتیکی برای نمونهی لایه نازک.

۲-۲- مدل پاشندگی کلاسیک

با داشتن رابطهی واحد برای ضریب شکست موهومی می-توان مقادیر ضریب شکست و ضریب خاموشی را برای هر طول موج بدست آورد. به این منظور دادههای تجربی که به صورت نقطههایی گسسته میباشند با مدلی که خواص نمونه را ارضاء میکند برازش میشود. برای پرمالوی این مدل، مدل پاشندگی کلاسیکی^۹ میباشد.مدل پاشندگی کلاسیکی ترکیبی از مدل درود^{۱۰} [۵] و مدل لورنتز^{۱۱} [۶]

است. مدل درود توصیف کنندهی خواص اُپتیکی فلزات است اما در توصیف انرژی نوار ممنوعه^{۱۲} ناتوان است. مدل لورنتز برای عایقها و نیمرساناها در ناحیهی بالای انرژی نوار ممنوعه، مدل مناسبی است. ترکیب این دو مدل می-تواند برای موادی که خواص نیمرسانایی و فلزی را به صورت همزمان دارند پاسخگو باشد. با توجه به اینکه چه مدلی برای ماده انتخاب شود، میتوان ویژگیهای خاصی را از رابطه استخراج کرد. به عنوان مثال با مدل درود می-توان چگالی الکترونهای آزاد را که با بسامد پلاسما^{۱۲} ارتباط دارد استخراج کرد.

با ترکیب مدل درود و مدل لورنتز و با اعمال نوسانات تا مرتبهی دوم به رابطهی

$$N(\omega) = n(\omega) + ik(\omega)$$

$$= \sqrt{\frac{\varepsilon_{\infty} + \frac{(\epsilon_{s} - \varepsilon_{\infty})\omega_{t}^{2}}{i\Gamma_{0}\omega - \omega^{2} + \omega_{t}^{2}} + \frac{\omega_{p}^{2}}{i\Gamma_{d}\omega - \omega^{2}}}, \quad (1 \cdot)$$

$$+ \frac{f_{1}\omega_{01}^{2}}{i\gamma_{1}\omega - \omega^{2} + \omega_{01}^{2}},$$

برای مدل کلاسیکی میرسیم که $_{\infty}^{\circ}$ ثابت دیالکتریک در بسامد بالا، $\epsilon_{\rm s}$ ثابت دیالکتریک در بسامد پایین، در بسامد بالا، $\epsilon_{\rm s}$ ثابت دیالکتریک در بسامد پایین، $(\epsilon_{\rm s} - \epsilon_{\infty})$ قدرت نوسان مرتبهی اول لورنتز، $_{0}^{\circ}$ فرکانس تشدید جذب، $_{0}^{\circ}$ پهنای پیک جذب، $_{p}^{o}$ بسامد پلاسما، $\Gamma_{\rm d}$ بسامد برخورد الکترونها، f_{1} قدرت نوسان مرتبهی دوم لورتنز، $_{00}^{\circ}$ بسامد تشدید نوسان مرتبهی دوم لورنتز و γ_{1} پهنای نوسان مرتبهی دوم لورنتز میباشند.

۳- آزمایش و نتایج

نمونه های مورد بررسی به روش کند و پاش^{۱۰} بر روی زیرلایهی (Si(100 تحت فشار گاز آرگون SmTor، فشار زمینه 50nTor و با سرعت یک آنگستروم بر ثانیه رشد داده شده است. برای اندازه گیری شدت از دستگاه SE800DUV مدل SE800DUV استفاده شده است، بازهی deل موجی از ۲۰۰ تا ۲۰۰ nm ۹۰۰، با دقت ۸۸ است که برای هر طول موج شدت از زاویه ی °۰ تا °۱۸۰ با قدم های °۲/۲۵ و تحت زاویهی فرود °۷۰ اندازه گیری شده است.

۵۳۹

⁹ Classical Dispersion Model

¹⁰ Drude Dispersion Model

¹¹ Lorentz Dispersion Model

¹² Band Gap Energy (Eg)

¹³ Plasma Frequency

¹⁴ Sputtering

از شدت نور بازتابی و با استفاده از روابط ۲ تا ۴، پارامترهای بیضی سنجی را برای هر طول موج بدست آورده و با روابط ۶ تا ۹ ضریب شکست و ضریب خاموشی به روش نقطه به نقطه^{۱۵} استخراج می شود (دایره، مربع, مثلث و ستاره در شکل ۲).سپس دادههای تجربی را با رابطهی ۱۰ برازش کرده (خطوط در شکل ۲) که نتایج بدست آمده در جدول ۱ دستهبندی شدهاند.



شکل ۲: دادههای تجربی مربوط به ضریب شکست (دایره، مثلث) و ضریب خاموشی (ستاره، مربع) و دادههای تحلیلی آنها (خطوط) برای دو نمونهی ۱۰nm (مثلث، ستاره) و ۲۰۰nm (دایره، مربع).

در جدول ۱ ضرایب $\epsilon_{s} \cdot \epsilon_{\infty} \cdot \epsilon_{\infty}$ بدون بعد و ضرایب $\gamma_{1} \cdot \Gamma_{d} \cdot \Gamma_{0} \cdot \omega_{01} \cdot \omega_{p} \cdot \omega_{t}$ دارای بعد انرژی الکترون – ولت (ev) میباشند.

جدول ۱: ضرایب مدل پاشندگی کلاسیک برای نمونهی ۱۰nm و ۲۰۰nm . (ضرایبی که با * مشخص شدهاند دارای مفهوم فیزیکی نیستند اما با استفاده از این مقادیر برازش بهتری دیده می شود).

	نمونهی ۱۰nm	نمونهی ۲۰۰nm
ϵ_{∞}	١	١
$\epsilon_{\rm s}$	۳.۱۱۷۸۶۶	١.۶۲٩٨٩٨
ω_t	0.041084	۴.۷۷۹۹۸۵
* Γ ₀	-8.18414	-2.0.40
ω_p	9.447.49	Y.A1611
$^{*}\Gamma_{d}$	-7.40149	-1.81877
f_1	-17.19.8	۸ • • ۲. • ۲-
ω ₀₁	۳.۱۵۰۷۹۸	17.87888
γ_1	19.59786	788.9888

15 Point-By-Point

۴- نتیجهگیری

تفاوت ضریب شکست دو نمونه ۱۰۳۳ و ۲۰۰۳۳ در طول موجهای پایین بسیار ناچیز است اما با افزایش طول موج این تفاوت محسوس تر می شود تا جایی که در طول موج ۹۰۰۳۳ ضریب شکست نمونه ی ۱۰۳۳ بیشتر می شود. ۱۰/۳۵ از ضریب شکست نمونه ی ۲۰۰۳ بیشتر می شود. اما این رفتار برای ضریب خاموشی کمی متفاوت است، به طوری که در ناحیه ی فرابنفش ضریب خاموشی نمونه ی ۱۰۳۳ بیشتر است اما در طول موجهای بالاتر ضریب خاموشی نمونه ۲۰۰۳۳ مقدار بیشتری را دارد.

با توجه به اینکه بسامد پلاسما با چگالی الکترونهای آزاد ماده رابطهی مستقیم دارد لذا همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است چگالی الکترون لایه نازک پرمالوی(نمونهی ۱۰nm) بیشتر از نمونهی تودهای (۲۰۰nm) از آن است.

مراجع

- Sahin, T., H. Kockar, and M. Alper, Properties of electrodeposited CoFe/Cu multilayers: The effect of Cu layer thickness. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2014.
- [2] Fujiwara, H., Spectroscopic ellipsometry: principles and applications. 2007: John Wiley & Sons.
- [3] Azzam, R.M. and N.M. Bashara, *Ellipsometry and polarized light*. 1987: North-Holland. sole distributors for the USA and Canada, Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- Jenkins, T., Multiple-angle-of-incidence ellipsometry. Journal of Physics D: Applied Physics, 1999. 32(9): p. R45.
- [5] Bade, W.L., Drude- Model Calculation of Dispersion Forces. I. General Theory. The Journal of Chemical Physics, 1957. 27(6): p. 1280-1284.
- [6] Oughstun, K. and N. Čartwright, On the Lorentz-Lorenz formula and the Lorentz model of dielectric dispersion.
 Optics Express, 2003. 11(13): p. 1541-1546.