

ضخامت سنجی لایه های نازک در حین فرآیند لایه نشانی و تعیین تابع دی الکتریک مختلط به صورت

همزمان مبتنی بر زوایای تابش چندگانه بیم های لیزر

اشرفی، محمد رضا؛ کاشفیان، علی؛ رشیدیان، بیژن

آزمایشگاه نانوالکترونیک، دانشکده برق، دانشگاه صنعتی شریف، خیابان آزادی، تهران

چکیده

در این مقاله روشی جهت اندازه گیری تابع دی الکتریک مختلط و ضخامت فیلم های خیلی نازک به صورت همزمان، در طول پروسه لایه نشانی ارائه می شود. برای این منظور دستگاه معادلات شدت نور بازتابیده و عبوری تحلیل گردیده و اجزاء حقیقی و موهومی تابع دی الکتریک و همچنین ضخامت فیلم در حال لایه نشانی بدست می آید. نتایج عملی توسط یک سیستم طراحی شده برای دریافت بلادرنگ داده های شدت نور، برای لایه نشانی فلز آلومینیوم در دو طول موج لیزر برابر ۶۵۰ نانومتر (نور قرمز روشن) و ۷۸۰ نانومتر (نور مادون قرمز نزدیک) روی بستر شیشه ارائه شده اند.

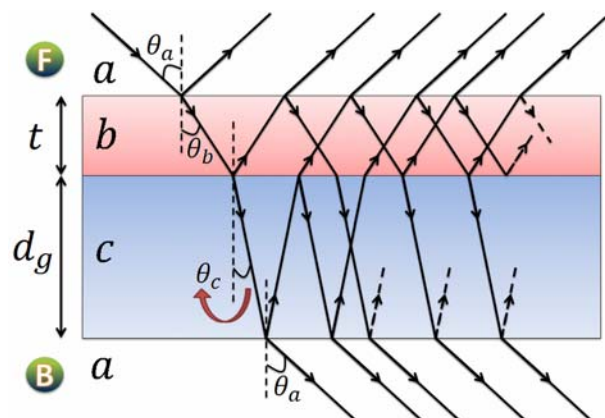
Simultaneous In Situ Thickness Monitoring of Thin Films and Determining their Dielectric Properties Based on Multiple Incident Lasers Beams

Ashrafi, Mohammad Reza; Kashefian, Ali; Rashidian, Bizhan

Nanoelectronics Lab, School of Electrical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran

Abstract

In this paper we report a measurement technique for simultaneously determining complex dielectric constant and thickness of ultra-thin films. For this purpose we analyze a set of reflected and transmitted light intensity equations and obtain real and imaginary parts of the dielectric constant and thickness of the growing film. Experimental results obtained by a designed real-time system is reported for Aluminum coating on glass substrate at two laser light wavelengths of 650nm (light red) and 780nm (near infrared).



شکل ۱: نمایش انتشار یک بیم نور در سیستم شامل یک لایه نازک (b) روی یک بستر (c)

مقدمه

لایه های بسیار نازک همیشه در کاربردهای مدرن و صنعتی و کاربردهای خاص گوناگون به عنوان مثال: لایه های بسیار نازک فلزی روی یکدیگر در دیودهای شاتکی برای دستیابی به سد پتانسیل مطلوب در پیوند فلز- نیمه هادی [۱]، سیستم چند لایه ای بسیار نازک (<100nm) برای رهاسازی مطلوب DNA به منظور ژن درمانی [۲]، لایه های هادی بسیار نازک روی عایق ها برای پراکنندگی بار [۳] و لایه های با بازتابش نسبی کم برای پنجره های با انرژی مؤثر [۴]، مورد توجه بوده اند.

الکتریکی می‌باشند و از معادلات فرنل در حالت پلاریزاسیونهای S و P بدست می‌آیند. در روابط (۱) و (۲) پارامترهای r_{bF} و t_{bF} به ترتیب ضرایب بازتاب و عبور میدان الکتریکی از لایه نازک با فرض بی‌نهایت بودن ضخامت بستر در جهت تابش بیم نور از بالا به پایین در شکل ۱ هستند. r_{bB} و t_{bB} را نیز به صورت مشابه ولی در جهت تابش بیم نور از پایین به بالا در شکل ۱ تعریف کرده‌ایم که با جا به جایی اندیسه‌های a و c در r_{bF} و t_{bF} بدست می‌آیند. پارامترهای فوق به صورت زیر بدست آمده‌اند:

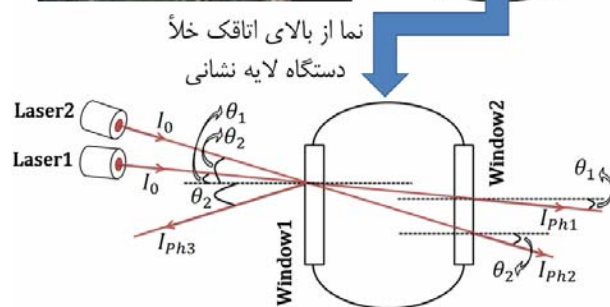
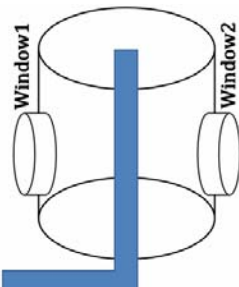
$$r_{bF} = \frac{r_{ab} + r_{bc} e^{-j2k_b l_b}}{1 + r_{ab} r_{bc} e^{-j2k_b l_b}} \quad (3)$$

$$t_{bF} = \frac{t_{ab} t_{bc} e^{-jk_b l_b}}{1 + r_{ab} r_{bc} e^{-j2k_b l_b}} \quad (4)$$

k_c و k_b ثابتهای انتشار مختلط موج هستند:

$$k_i = \beta_i + i \frac{\alpha_i}{2} \quad (5)$$

که در آن β_i ثابت فاز و α_i ضریب جذب نوری محیط i نامیده می‌شوند. پارامترهای l_b و l_c نیز به صورت $l_b = t / \cos \theta_b$ و $l_c = d_g / \cos \theta_c$ تعریف می‌شوند. R_{total}



شکل ۲: نمایی شماتیک (بالا سمت راست) و تصویری (بالا سمت چپ) از اتاقک خلأ دستگاه لایه‌نشانی و نحوه تابش پرتو لیزرها.

علاوه بر اینکه توسط اندازه‌گیری‌های حین پروسه می‌توان شرایط لایه نشانی مثل ضخامت لایه را کنترل کرد، از اکسید شدن سریع لایه‌های نازک هنگامی که در معرض هوا برای انجام اندازه‌گیری‌های خارج پروسه قرار داده می‌شوند، جلوگیری به عمل آورده می‌شود. با این وجود اندازه‌گیری ضخامت و مشخصات نوری لایه‌های نازک تاکنون با سختی‌هایی روبرو بوده است. روش مرسوم برای استخراج مشخصات نوری لایه‌های نازک استفاده از بیضی‌نگاری طیفی (SE) می‌باشد. اما از آنجا که مشخصات نوری لایه‌های نازک به صورت برجسته‌ای با مشخصات نوری توده (Bulk) آنها تفاوت دارد استفاده از مشخصات نوری ثابت توده هر ماده مثلاً برای تعیین ضخامت لایه نازک آن ماده منجر به خطای قابل ملاحظه‌ای خواهد شد. لذا مدلی که قرار است برای تعیین ضخامت و مشخصات نوری لایه‌های نازک توسط الیپسومتری طیفی استفاده شود باید مدلی دقیق و کالیبره شده برای هر حالت خاص باشد. سه سال قبل یک روش مبتنی بر تلفیق روش الیپسومتری طیفی و روش سنجش شدت نور ارائه شد [۵]. روش ارائه شده در این مقاله مبتنی سنجش شدت نور بازتابیده و عبوری چند بیم لیزر با زوایای تابش متفاوت نسبت به سطح می‌باشد.

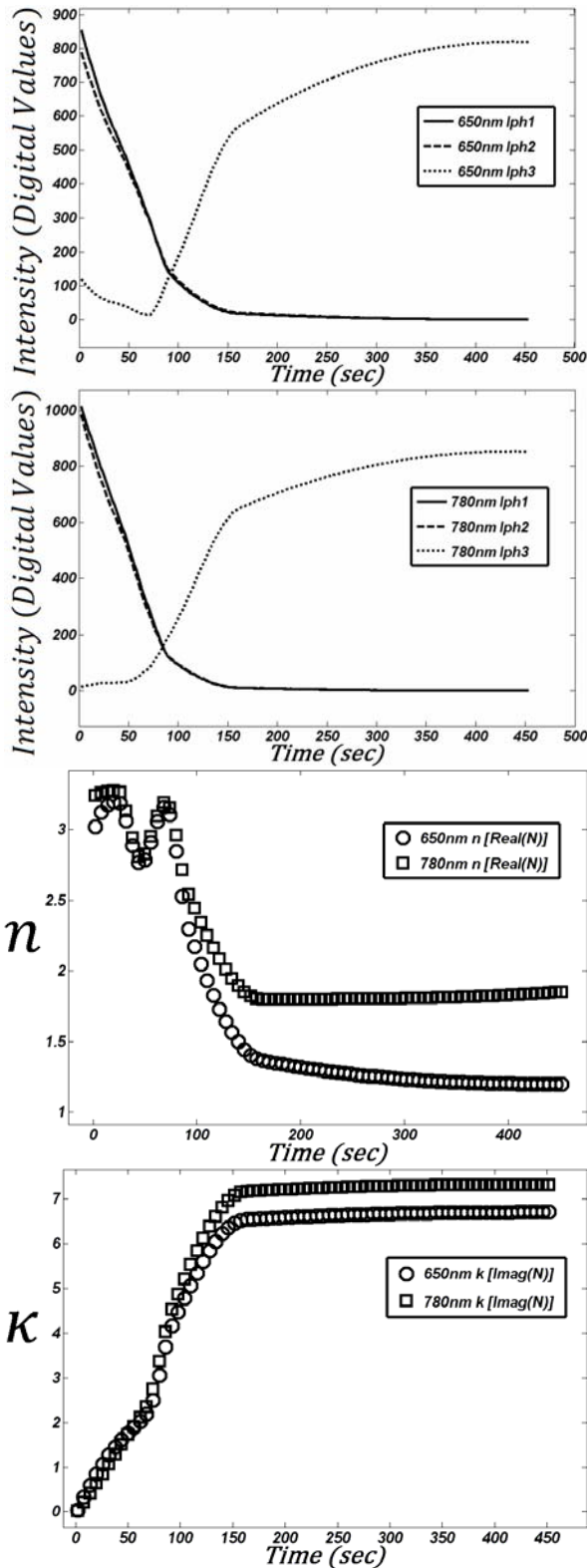
مبانی تئوری

شکل ۱ انتشار یک بیم نور را در یک سیستم دو لایه شامل یک بستر و یک لایه نازک روی آن نشان می‌دهد. در صورتی که بیم نور با زاویه کمی نسبت به خط عمود بر سطح نمونه تابیده شود می‌توان اثر تداخلی بیم‌های تشکیل دهنده بیم کلی را حداکثر فرض کرد. برای این حالت ضرایب بازتاب و عبور کلی از سیستم را محاسبه کرده‌ایم:

$$R_{total} = \left| r_{bF} + \frac{t_{bB} t_{bF} r_{ca} e^{-j2k_c l_c}}{1 - r_{ca} r_{bB} e^{-j2k_c l_c}} \right|^2 \quad (1)$$

$$T_{total} = \left| \frac{t_{ca} t_{bF} e^{-j k_c l_c}}{1 - r_{ca} r_{bB} e^{-j2k_c l_c}} \right|^2 \quad (2)$$

پارامترهای r_{ij} و t_{ij} در روابط بالا که در آن \mathbf{i} و \mathbf{j} هر دو با حروف کوچک هستند ضرایب مختلط عبور و بازتاب میدان



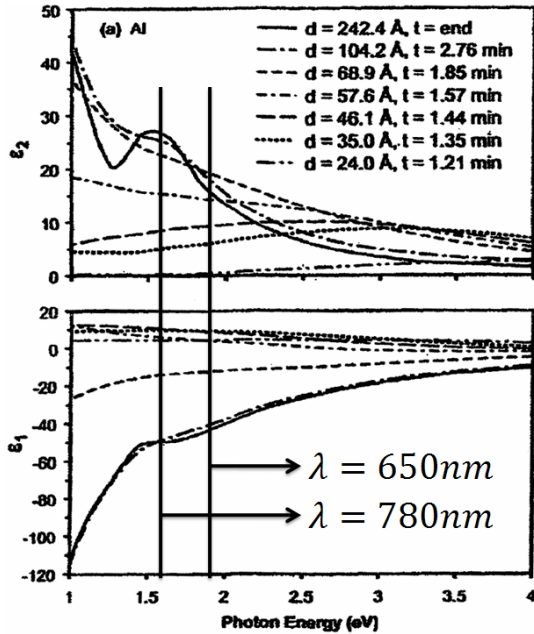
شکل ۳: شدت نورهای دریافتی و اجزاء حقیقی و موهومی ضریب شکست لایه نازک بر حسب زمان لایه‌نشانی.

و T_{total} در حالتی که بیم لیزر اول به بستر برخورد می کند تفاوتی نخواهند داشت غیر از اینکه اندیسهای b و c را می‌بایست با هم جا به جا کنیم. در این حالت آنها را با R_{total}^B و T_{total}^B نمایش می‌دهیم.

طرح ریزی عملی سیستم

رشد لایه نازک فلز آلومینیوم را توسط دستگاه لایه نشانی در خلأ با تفنگ الکترونی (شکل ۲) انجام داده‌ایم. زوایای تابش را با توجه به فاصله دو پنجره از یکدیگر و ابعاد آنها به صورت $\theta_1 = 1(\text{deg.})$ و $\theta_2 = 15(\text{deg.})$ انتخاب کرده‌ایم. دلیل اینکه بیم لیزر ۱ را به صورت کاملاً عمود بر سطح شیشه نتابانده‌ایم این است که اثر بازتاب‌های چندگانه بین دو پنجره را روی شدت نور I_{ph1} از بین ببریم. در این مقاله ضخامت آلومینیوم لایه‌نشانی شده روی شیشه پنجره‌های اتاقک مورد بررسی قرار گرفته و تغییرات تابع دی‌الکتریک آلومینیوم بر حسب ضخامت را توسط لیزرهایی با طول موج ۶۵۰ نانومتر (نور قرمز روشن) و ۷۸۰ نانومتر (نور مادون قرمز نزدیک) تعیین کرده‌ایم. شدت نور بیم‌های عبوری یا بازتابیده مورد نظر توسط یک مدار دقیق طراحی شده به صورت بلادرنگ و در حین فرآیند لایه‌نشانی اندازه‌گیری می‌شوند. برای تشکیل دستگاه معادلات مورد نیاز به منظور استخراج همزمان سه پارامتر مورد نظر لایه نازک در حین انجام فرآیند لایه‌نشانی در یک حالت پلاریزاسیون لیزرها حداقل به دو بیم لیزر با زاویه‌های تابش متفاوت مانند شکل ۲ نیاز داریم. اگر اجزاء حقیقی و موهومی ضریب شکست لایه نازک را بدون اندیس به صورت $N_b = n + ik$ نمایش دهیم، دستگاه معادلات شدت نور به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{cases} I_{Ph1} = I_0 T_{total}^B(t, n, \kappa, \lambda, \theta_1) \dots \\ \dots T_{total}(t, n, \kappa, \lambda, \theta_1) \\ I_{Ph2} = I_0 T_{total}^B(t, n, \kappa, \lambda, \theta_2) \dots \\ \dots T_{total}(t, n, \kappa, \lambda, \theta_2) \\ I_{Ph3} = I_0 R_{total}^B(t, n, \kappa, \lambda, \theta_2) \end{cases} \quad (6)$$



شکل ۵: نتیجه عملی بدست آمده برای لایه نازک آلومینیوم توسط Pribil و Johs [۵] به روش الیسومتری طیفی به همراه سنجش شدت نور، جهت انجام مقایسه در طول موجهای مورد نظر.

[] A. R. Alian, B. Rashidian, M. R. Ashrafi, A. Kashefian, M. Bavafa, and H. Ilati, "Barrier Height Engineering Through Alloy Deposition in Depletion Type Schottky Contacts", To be Published in the Proc. of IEEE International Nanoelectronics Conference, INEC 2008.

[] J. Zhang, L. S. Chua, and D. M. Lynn, "Multilayered Thin Films that Sustain the Release of Functional DNA under Physiological Conditions", Langmuir 2004, 20, 8015-8021, American Chemical Society, 2004.

[] T. W. H. Oates, and M. M. M. Bilek, "Insulator Surface Charging and Dissipation during Plasma Immersion Ion Implantation using a Thin Conductive Surface Film", J. Appl. Phys. 92, 2980, 2002.

[] R. J. Martin-Palma, L. Vazquez, J. M. Martinez-Duart, and A. Malats-Riera, "Silver-Based Low-Emissivity Coatings for Architectural Windows: Optical and Structural Properties", Sol. Energy Mater. Sol. Cells 53, 55-56, 1998.

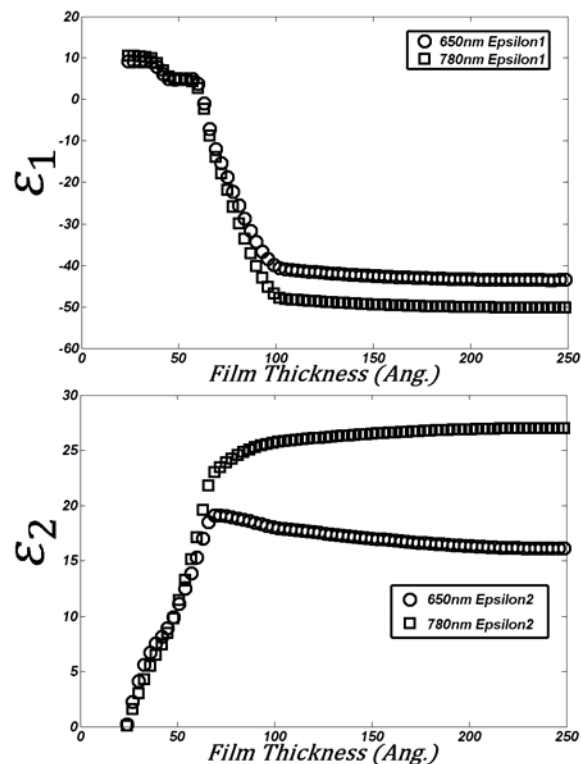
[] G. K. Pribil, B. Johs, N. J. Ianno, "Dielectric Function of Thin Metal Films by Combined In Situ Transmission Ellipsometry and Intensity Measurements", Elsevier Thin Solid Films 455-456 (2004) 443-449, 2004.

راه حل عددی تحلیل دستگاه معادلات

در سیستم بلادرنگ طراحی شده شدت نورهای دریافتی دارای ۱۰۲۴ سطح منطقی دیجیتال هستند. در یک برنامه کامپیوتری متغیرهای معادلات با دقت مناسب تغییر داده می‌شوند و تغییرات شدت نورهای مورد نظر به صورت یک جدول نظاره ذخیره می‌شود و تصمیم‌گیری برای مقدار متغیرها در طول فرآیند بر اساس این جدول نظاره صورت می‌گیرد.

مقایسه نتایج عملی

مقایسه اجزاء حقیقی و موهومی تابع دی‌الکتریک بر حسب ضخامت لایه بدست آمده در حین فرآیند لایه‌نشانی (شکل ۳ و ۴) و نتیجه عملی بدست آمده برای لایه نازک آلومینیوم توسط Pribil و Johs [۵] به روش الیسومتری طیفی به همراه سنجش شدت نور (شکل ۵) گویای دقت بالای روش ارائه شده در این مقاله می‌باشد.



شکل ۴: اجزاء حقیقی و موهومی تابع دی‌الکتریک بر حسب ضخامت لایه بدست آمده از روی n و k در حین فرآیند لایه‌نشانی.