



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.  
۱۱-۹ بهمن ۱۳۹۷



## بررسی خواص اپتیک غیرخطی لایه‌های نازک نانوساختار مس تهیه شده با روش لایه‌نشانی تبخیر گرمایی مقاومتی

مهسا اطمینان<sup>۱</sup>، نوشین السادات حسینی تهرانی<sup>۱</sup>، عطااله کوهیان محمد آبادی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه تهران، رایانامه: [mahsaetminan@ut.ac.ir](mailto:mahsaetminan@ut.ac.ir), [hosseini96@ut.ac.ir](mailto:hosseini96@ut.ac.ir), [koohian@ut.ac.ir](mailto:koohian@ut.ac.ir).

چکیده - در این مقاله خواص اپتیک غیرخطی لایه‌های نازک نانوساختار مس شامل ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نمونه‌ها در دو ضخامت ۲۵ nm و ۱۳۰nm و با روش لایه‌نشانی تبخیر گرمایی مقاومتی تهیه شده‌اند، همچنین از تکنیک جاروب-Z با لیزر دیودی پیوسته در طول موج ۵۳۲nm، برای بدست آوردن خواص اپتیک غیرخطی استفاده شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد ضریب شکست غیرخطی با افزایش ضخامت لایه‌ها تغییر علامت می‌دهد و ضریب جذب غیرخطی کاهش می‌یابد.

کلیدواژه- ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی، لایه‌های نازک فلزی، لایه‌نشانی تبخیر گرمایی مقاومتی

### Investigation of Nonlinear Optical Properties of Thin Cu Nano-Structure Films Prepared by Resistance Thermal Evaporation deposition

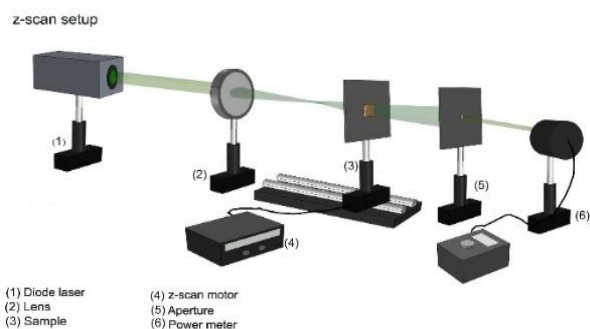
Mahsa Etminan<sup>a</sup>, Nooshin. S. Hosseini<sup>a</sup>, Ataalah Koohian<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Physics, University of Tehran, Emails: [mahsaetminan@ut.ac.ir](mailto:mahsaetminan@ut.ac.ir), [hosseini96@ut.ac.ir](mailto:hosseini96@ut.ac.ir), [koohian@ut.ac.ir](mailto:koohian@ut.ac.ir).

Abstract- In this paper, the nonlinear optical properties of copper nanostructure thin-films, including nonlinear refractive index and absorption coefficient, have been investigated. The samples were prepared in two thicknesses of 25 nm and 130 nm by Resistance Thermal Evaporation(RTE) deposition method, also the Z- Scan technique with continuous diode laser at 532 nm was used to obtain nonlinear optical properties. The results of this study shows that the sing of nonlinear refractive index changes with increasing thickness of the films, and the nonlinear absorption coefficient decreases.

Keywords: Copper nanostructure thin-films, Nonlinear refractive index and absorption coefficient, Resistance Thermal Evaporation(RTE) deposition

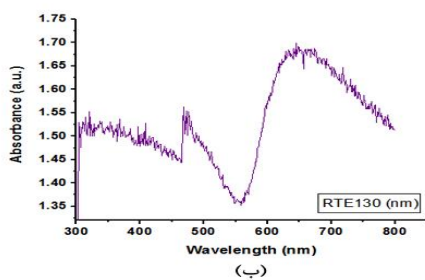
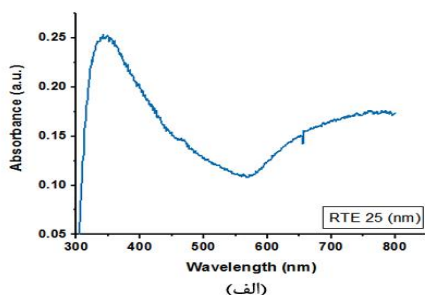
## مقدمه



شکل ۱: شبیه‌سازی چیدمان آزمایش جاروب-Z روزه بسته.

## نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از طیف سنجی نوری مرئی-فرابنفش که در شکل ۳ آمده است، نشان می‌دهد، هردو نمونه دارای قله جذب پلاسماونی هستند که برای لایه با ضخامت ۲۵ نانومتر این قله در طول موج ۷۳۵ نانومتر و برای لایه با ضخامت ۱۳۰ نانومتر در طول موج ۶۲۳ نانومتر است.



شکل ۲: نمودار طیف جذب نوری لایه‌های نازک مس با ضخامت (الف) ۱۳۰ نانومتر، (ب) ۲۵ نانومتر

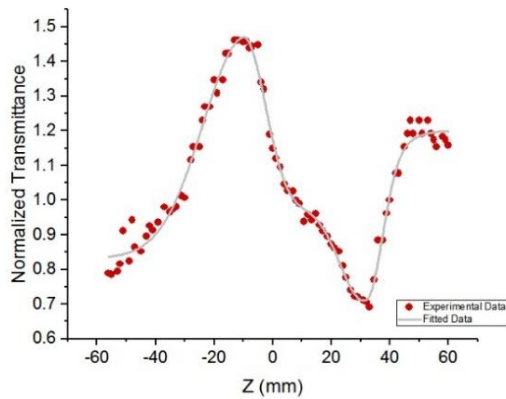
همچنین نتایج بدست آمده از میکروسکپ الکترون روبشی (FESEM) نیز وجود جزایری از نانوذرات را روی سطح لایه‌ها نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود تراکم نانوذرات روی لایه با ضخامت ۱۳۰ نانومتر بیشتر از لایه با ضخامت ۲۵- نانومتر است (شکل ۳).

امروزه لایه‌های نازک با ویژگی‌های غیر خطی طیف وسیعی را هم از نظر نوع ماده و هم از نظر کاربرد تشکیل می‌دهند، که از جمله کاربردهای آن‌ها می‌توان به ساخت حسگرها [۱]، ساخت سوییچ‌های اپتیکی، محدود کننده‌های توان لیزر و قطعات اپتیکی حساس [۲]، جاذب‌های قابل اشباع و همچنین ابزارهای فوتونیک و اپتوالکترونیک [۳]، اشاره کرد. از این جهت بررسی خواص اپتیکی لایه‌های نازک دارای اهمیت قابل ملاحظه‌ای می‌باشد.

ضریب شکست غیرخطی منشأهای متفاوتی دارد که غیرخطیت گرمایی یکی از آن‌ها است. پدیده نوری غیرخطی گرمایی ناشی از جذب باریکه لیزری به‌هنگام عبور از یک ماده اپتیکی می‌باشد. در اثر جذب دمای بخشی از ماده که در معرض تابش قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد و بنابراین ضریب شکست غیرخطی ماده تغییر می‌کند. همچنین تغییرات ضریب شکست غیرخطی بسته به نوع ماده و ساختار درونی آن ممکن است مثبت یا منفی باشد [۴]. در این مقاله به بررسی غیرخطیت گرمایی برای دو نمونه تهیه شده از لایه‌های نازک نانو ساختار مس با دو ضخامت متفاوت، با استفاده از تکنیک جاروب-Z می‌پردازیم [۵].

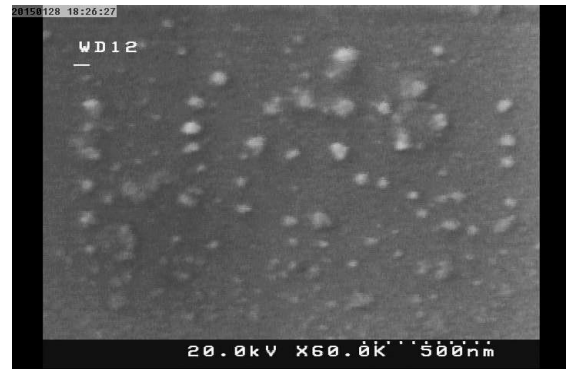
## تهیه نمونه‌ها و چیدمان آزمایش

نمونه‌ها با استفاده از دستگاه لایه‌نشانی تبخیر گرمایی مقاومتی (RTE)، Edvard Vacum Coater، با بوته تنگستن و در خلا  $5 \times 10^{-5}$  torr آماده شده‌اند (شکل ۱). برای تعیین ویژگی‌های نوری خطی و ساختار لایه‌هی نازک از طیف سنج نوری مرئی-فرابنفش (UV-VIS) و میکروسکپ الکترون - روبشی گسیل میدانی (FESEM) استفاده کرده‌ایم. ضخامت لایه‌های تهیه شده ۲۵ و ۱۳۰ نانومتر است و مقدار جرم مس تبخیر شده در فرآیند لایه‌نشانی به ترتیب ۱۰ و ۵۲ میلی‌گرم بوده است. همچنین برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی با استفاده از تکنیک جاروب-Z [۵]، از یک لیزر دیودی با طول موج ۵۳۲ نانومتر و توان ۱۳۰ میلی‌وات، پاورمتر دیجیتالی ۲۰۰ میلی‌وات و روزه با قطر ۱،۵ میلی‌متر، استفاده شده است (شکل ۱).

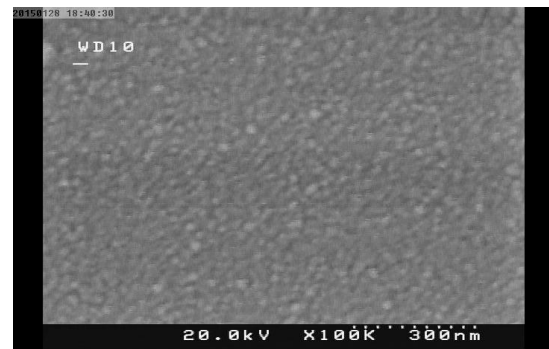


(ب)

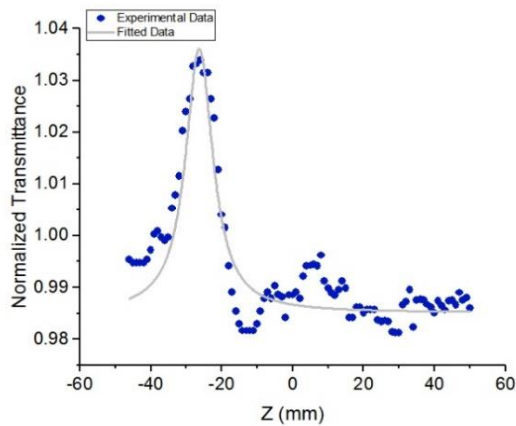
شکل ۴: نمودار جاروب-Z روزنه بسته لایه نازک مس با ضخامت، (الف): ۲۵ نانومتر و (ب): ۱۳۰ نانومتر.



(الف)



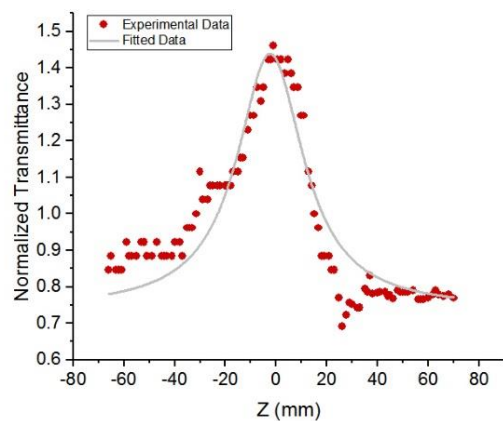
(ب)



(الف)

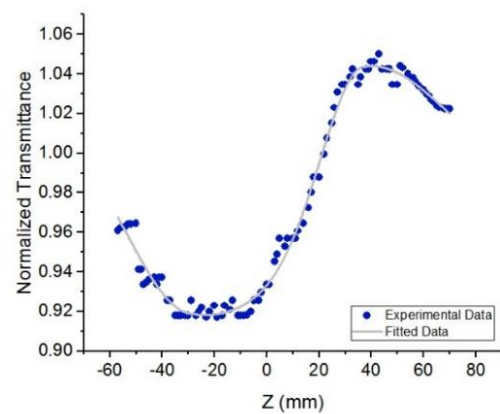
شکل ۳: تصویر FESEM (الف): لایه نازک مس با ضخامت ۲۵ نانومتر، (ب): لایه نازک مس با ضخامت ۱۳۰ نانومتر.

برای بدست آوردن ویژگی‌های اپتیک غیرخطی لایه‌ها آزمایش جاروب-Z را یکبار به صورت روزنه بسته و بار دیگر به صورت روزنه باز انجام داده‌ایم که نتایج آن در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده‌است.



(ب)

شکل ۵: نمودار جاروب-Z روزنه باز لایه نازک مس با ضخامت، (الف): ۲۵ نانومتر و (ب): ۱۳۰ نانومتر.



(الف)

## مرجع‌ها

- [1] S.Vyas, R.Tiwary, K.Shubham, P. Chakrabarti, "Study the target effect on the structural, surface and optical properties of TiO<sub>2</sub> thin film fabricated by RF sputtering method", Elsevier.0749-6036, 2014.
- [2] P. Zhang, X. Zhang, S. Xu, P. Lu, D. Tan, J. Xu, F. Wang, L. Jiang, K. Cheng, "Phosphorus doping effect on linear and nonlinear optical properties of Si/SiO<sub>2</sub> multilayers", Optical Materials Express 304, Vol. 7, No. 2, 2017.
- [3] M. T. Greiner and L. Zheng-Hong, "Thin-film metal oxides in organic semiconductor devices: their electronic structures, work functions and interfaces," NPG Asia Materials, vol. 5, no. 7, p. e55, 2013.
- [4] R. W. Boyd, *Nonlinear optics*. Academic press, 2003.
- [5] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei, D. J. Hagan, and E. W. Van Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam" IEEE journal of quantum electronics 26, No. 4, 760-769, 1990.
- [6] E. W. Van Stryland, and M. Sheik-Bahae, "Z-scan measurements of optical nonlinearities" Characterization techniques and tabulations for organic nonlinear materials 18, No. 3, 655-692, 1998.
- [7] M. CHEN, J. GAO, "The adhesion of copper films coated on silicon and glass substrates", Modern Physics Letters B, Vol.14, No.3,103-108, 2000.
- [8] L. Wang, T. Chen, T. Feng, Y. Chen, W. Que, L. Lin, Z. Sun, "Effect of sputtered Cu film's diffusion barrier on the growth and field emission properties of carbon nanotubes by chemical vapor deposition", Appl. Phys. A90,701-704, 2007.
- [9] G. A. Almyras, G. M. Matenoglou, P. Komninou, C. Kosmidis, P. Patsalas, G. A. Evangelakis, "On the deposition mechanisms and the formation of glassy Cu-Zr thin films", Journal of applied physics, 107,084313, 2010.
- [10] F. W. Qin, M. M. Zhong, Y. M. Liu, H. Wang, J. M. Bian, C. Wang, Y. Zhao, D. Zhang, Q. M. Li, "Growth of high c-oriented crystalline GaN films on amorphous Cu/glass substrates with low-temperature ECR-PEMOCVD", J Mater Sci: Mater Electron, 25:969-973, 2014.

باتوجه به شکل ۴ و همچنین بیشینه و کمینه توان تراگسیل برای دو نمونه، نتیجه می‌شود که ضریب شکست غیرخطی برای نمونه لایه نازک مس با ضخامت ۲۵ نانومتر مثبت و برای نمونه لایه نازک مس با ضخامت ۱۳۰ نانومتر منفی است. بنابراین با تغییر ضخامت ضریب شکست غیرخطی تغییر علامت می‌دهد. نتایج حاصل از این نمودارها در جدول ۱ گزارش شده است.

	لایه نازک مس با ضخامت ۲۵nm	لایه نازک مس با ضخامت ۱۳۰nm
$\Delta z_{p-v}$ (cm)	۴/۹	۲/۷
ضخامت نمونه (L) (nm)	۲۵	۱۳۰
تغییر فاز غیرخطی ( $\Delta\phi$ )	۰/۳۴	۱/۹۹
ضریب جذب خطی ( $\alpha$ ) (cm <sup>-1</sup> )	۱/۱۷×۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۸۶×۱۰ <sup>-۵</sup>
ضریب شکست غیرخطی ( $n_2$ ) (cm <sup>۲</sup> /W)	۳/۱۶×۱۰ <sup>-۴</sup>	-۸/۳۴×۱۰ <sup>-۴</sup>

جدول ۱: پارامترهای مربوط به شکست غیرخطی لایه‌های نازک مس.

با استفاده از نتایج شکل ۵، می‌توان ضریب جذب غیرخطی را برای نمونه‌ها محاسبه کرد. محاسبات نشان می‌دهند با افزایش ضخامت لایه‌ها ضریب جذب غیرخطی آن‌ها کاهش می‌یابد (جدول ۲).

	لایه نازک مس با ضخامت ۲۵nm	لایه نازک مس با ضخامت ۱۳۰nm
ضریب جذب غیرخطی $\beta$ (cm/W)	-۷۳/۲	-۳۸/۸

جدول ۲: ضریب جذب غیرخطی لایه‌های نازک مس.

## نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش، لایه‌های نازک نانوساختار مس با تغییر ضخامت لایه، رفتار اپتیک غیرخطی جالبی از خود بروز می‌دهند. همانطور که از داده‌ها و نمودارها مشخص است، علامت ضریب شکست غیرخطی با تغییر ضخامت لایه‌های نازک تغییر می‌کند و همچنین ضریب جذب غیرخطی لایه‌ها با افزایش ضخامت کاهش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش ضخامت تراکم نانوذرات روی سطح لایه بیشتر می‌شود.