بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی و ساخت جاذب اشباع پذیر از نانولوله های کربنی تک دیواره با روش لایه نشانی افشانه ای

سمیه اسکندری[۱]، محمود حسینی فرزاد[۱]، محمد مهدی درودمند[۲] و مهدی موسوی[۱]

[۱] دانشگاه شیراز گروه فیزیک

[۲] دانشگاه شیراز گروه شیمی

چکیده – در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از پودر نانولوبه‌های کربنی تک دیواره و چند دیواره (ساخت بخش شیمی دانشگاه شیراز و نمونه‌های خارجی آن) با روش افشانه‌ای[۱] لایه نازک و مناسبی از آنها را بر روی بستر شیشه نشانده و سپس مراحل خشک‌سازی نمونه‌ها را اجرا کرد. چنانچه نانولوله‌های کربنی نیمه رسانا جدا از هم و منظم بر روی بستر شیشه قرار گیرند این قابلیت را دارند که مدهای طولی یک لیزر *Nd:YAG* پالسی را به هم قفل کرده و پالس‌های بسیار کوتاه تولید کنند. در این مقاله نتایج تجربی بدست آمده از شکل پالس های خروجی لیزر *Nd:YAG* در حضور این مواد تا حدود زیادی تولید چنین پالس‌های کوتاهی را دست یافتنی می‌نماید.

کلید واژه- پالس‌های بسیار کوتاه، روش افشانه ای، قفل شدگی مد، نانولوله کربنی.

Investigation and Fabrication of Carbon nano-Tubes Saturable Absorberby Vertical Evaporation Method

Somaye Eskandari[1], Mahmood Hoseini Farzad [1], Mohammad mahdi Doroodmand[3]

1Department of Physics, Shiraz, Iran

2Department of Chemistry, Shiraz, Iran

Abstract- In this paper we try to use the single and multi-wall carbon nano-tube powders (fabricated in chemistry department of Shiraz University and outdoor sources) in order to fabricate a suitable thin films of them on the glass substraits and after this, their drying process is employed. If this semiconductor carbon nano-tubes are indivsually coated on the glass substrate they have an ability to locked the longtitudenal modes of a pulses NdLYAG laser and generate ultra-short pulses. The experimental results obtain in this paper for the shape of the output pulses in the present of this samples show that the obtaining of these short pulses is mostly possible by this method.

[1] Spray coating

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]

۱- مقدمه

آینه های جاذب اشباع پذیر نیمه رسانا[۲] (SESAM) در دو دهه گذشته با موفقیت توسعه یافته و به طور گسترده برای تولید پالس های فوق کوتاه در لیزرهای حالت جامد قفل شده مد غیرفعال استفاده شده اند [1,2,3]. با این وجود سیزم ها در عمل با دو مشکل بزرگ روبرو بوده اند. اول آنکه زمان بازیابی[۳] آنها برای تولید پالس فوق کوتاه بسیار زیاد بوده و ثانیا ساخت آنها بسیار پرهزینه است. بعلاوه بازه عملکرد طول موجی سیزم ها بواسطه مواد استفاده شده در ساخت آنها محدود است. چنین محدودیت هایی باعث گسترش تحقیقات بر روی مواد جدید، طراحی های نو و تکنولوژی های نوین شده است. در مقابل نانولوله های کربنی بویژه نانولوله های کربنی تک دیواره[۴] (SWCNT) به عنوان مواد جاذب اشباع پذیر جدید و جایگزین, عملکرد با کیفیت تری را فراهم می کنند. زمان بازیابی در این نوع جاذب ها در حد پیکوثانیه و پایداری شیمیایی، مکانیکی و محیطی آنها بالاتر است. نانولوله‌های کربنی بازه عملکرد طول موجی وسیعی در ناحیه ۱ تا ۲ میکرومتر دارند. بعلاوه جاذب‌های اشباع پذیر بر پایه نانولوله های کربنی را می توان به راحتی و با روش‌های ارزان نظیر روش لایه نشانی افشانه ای[۵] [4]، لایه نشانی چرخشی[۶] [5] یا روش تبخیر عمودی[۷] [6] تولید کرد.

لیزرهای قفل‌شده مد با جاذب اشباع پذیر نانولوله کربنی در مواردی مانند اندازه‌گیری‌های صنعتی، نمونه‌برداری اپتیکی و اندازه‌گیری فرکانس نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند [2,7,8].

۲- روش ساخت

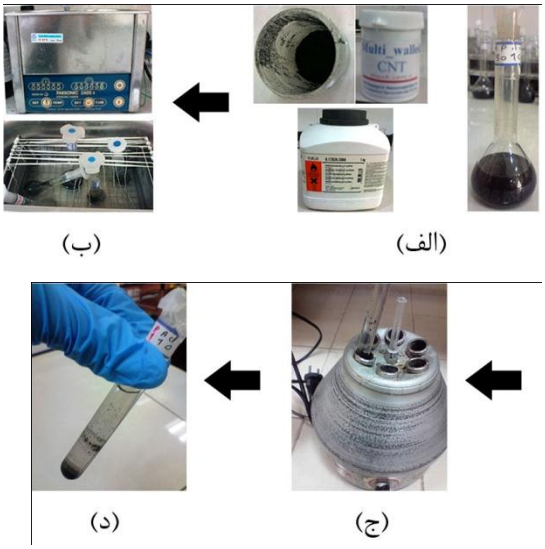
از آنجایی که لیزر مورد استفاده در این مقاله لیزر Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر است بنابراین می بایست از نانولوله‌های کربنی نیمه رسانا برای تهیه جاذب اشباع پذیر استفاده کرد؛ زیرا اغلب نانولوله های کربنی نیمه رسانا دارای پیک‌های جذبی در محدوده ۳۵۰ نانومتر تا ۱۶۰۰ نانومتر هستند. می‌دانیم که نانولوله‌های کربنی آب‌گریز بوده و به راحتی در آب پخش نمی‌شوند. استفاده از امواج فراصوت (اولتراسونیک)[۸] برای این کار مفید است؛ اما بدون وجود ماده فعال سطحی[۹] نانولوله‌های کربنی در عرض چند دقیقه از سوسپانسیون آب جدا خواهند شد. از طرفی محققان دریافتند که هرچه نانولوله های کربنی مدت زمان بیشتری تحت امواج فراصوتی قرار بگیرند، جذب‌شان در ناحیه طول‌موج‌های نزدیک مادون قرمز[۱۰] افزایش می‌یابد [9]. نانولوله های کربنی تک دیواره استفاده شده در این مقاله به روش قوس الکتریکی رشد داده شده و دارای قطر تقریبی ۵ نانومتر و توزیع طولی ۱۰ میکرومتر می باشند.

برای تهیه محلول مورد نظر ابتدا چند میلی گرم از پودر نانولوله کربنی مورد نظر را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبکی SDS [۱۱] با غلظت $\%۰/۱\frac{w}{v}$ ریخته می‌شود. در اینجا SDS یک فعال کننده سطحی است [9]. برای بدست آوردن جذب بالا در مخلوط معلق آبکی نانولوله‌های کربنی، مخلوط به مدت ۸ الی ۱۰ ساعت توسط امواج فراصوتی تکان داده می‌شود.

پس از فرایند به‌هم زدن فراصوتی، محلول حاوی نانولوله-های کربنی تک دیواره در سانتری‌فیوژ قرار می‌گیرد. در این مرحله توده‌های بزرگ نانولوله کربنی جداسازی و حذف می‌شوند. شکل ۱ مراحل آماده سازی محلول را نشان می‌دهد. سپس مخلوط معلق را توسط یک افشانگر که در فاصله ثابتی از بستر قرار دارد بر روی لام های میکروسکوپ نشانده و به مدت یک هفته درون دسیکاتور قرار می دهیم تا خشک شوند. پس از این مرحله نمونه آماده قرار گرفتن در کاواک لیزری است

[2] Semiconductor saturable absorber mirrors
[3] Recovery time
[4] Single wall carbon nano-tube
[5] Spray coating
[6] Spin coating
[7] Vertical evaporation
[8] Ultrasonic
[9] Surfactant
[10] Near Infrared
[11] Sodium dodecyl sulfate

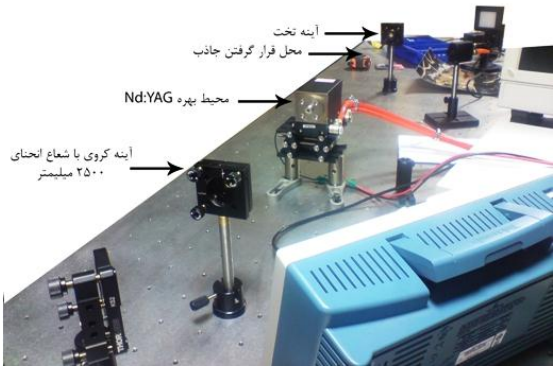
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]



شکل ۱. مراحل تهیه و آماده سازی محلول. (الف) ترکیب نانولوله کربنی با محلول SDS. (ب) فرآیند همزدن فراصوتی. (ج) فرآیند سانتری‌فیوژ. (د) بیرون ریختن بخش بالایی محلول.

۳- نتایج بدست آمده از آزمایش

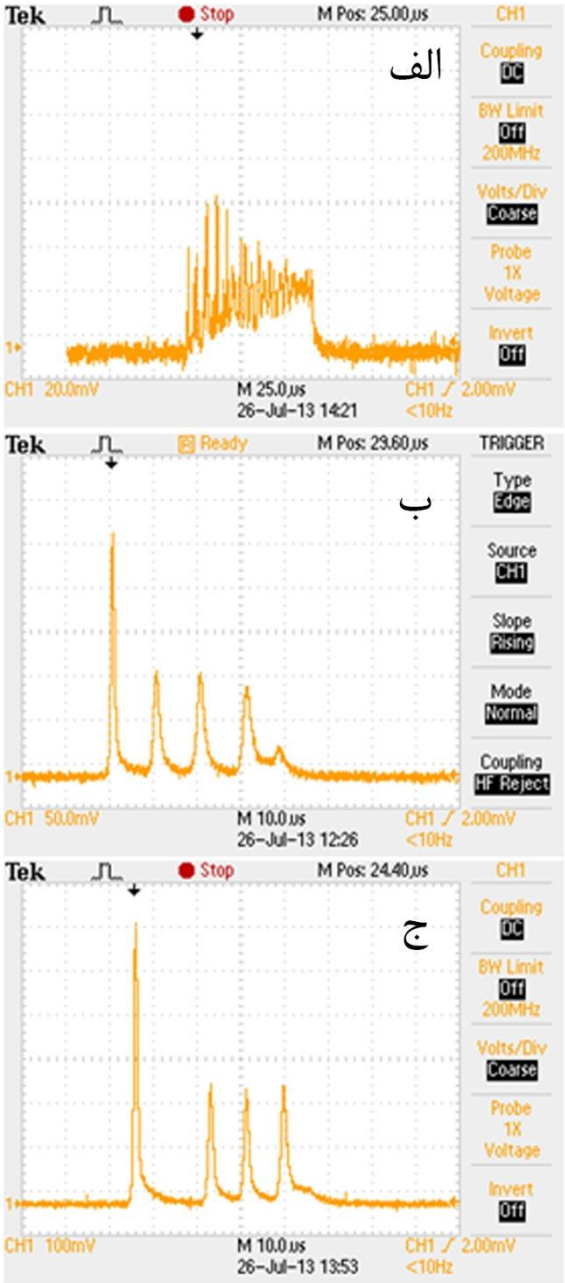
شکل ۲ شمایی از چیدمان کاواک و نحوه قرار گرفتن جاذب درون آن را نشان می‌دهد. لیزر و اسیلوسکوپ استفاده شده در این مقاله به ترتیب، لیزر پالسی Nd:YAG در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر و اسیلوسکوپ Tektronix (TDS ۵۰۵۴) می‌باشند.



شکل ۲. چیدمان آزمایشگاهی کاواک لیزری و محل قرار گرفتن جاذب اشباع پذیر.

شکل ۳ نتایج پالس خروجی به دست آمده قبل و بعد از قرار دادن ۲ نمونه جاذب اشباع پذیر ساخته شده از نانولوله های کربنی چند دیواره (شکل ۳ ب) و تک دیواره (شکل ۳ ج) را نشان می دهد.

انتظار داریم که در صورت ایجاد قفل شدگی مد با قرار گرفتن جاذب درون کاواک، شکل پالس خروجی لیزر تغییر کرده و قطاری از پالس های منظم و کوتاه را داشته باشیم



شکل ۳. نمایش پالس خروجی از اسیلوسکوپ. (الف) بدون جاذب. (ب) با جاذب. (ج) با جاذب.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]

شکل ۳-الف) پالس خروجی لیزر پالسی ND:YAG را در غیاب جاذب اشباع پذیر نانولوله کربنی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بدون حضور جاذب هیچگونه نظمی در پالس خروجی وجود ندارد. اما به نظر می‌رسد که در با قرار گرفتن نمونه‌های (ب) و (ج) پالس های خروجی منظم تر شده اند. پالس های خروجی Q-سوییچ شده‌اند؛ اما بدلیل عدم دسترسی به امکانات آزمایشگاهی لازم از جمله اسیلوسکوپ با قدرت تفکیک زمانی بیشتر، نتوانستیم جزییات ریزتر و در زمان‌های کوتاه‌تر را که در زیر تک پالس‌های شکل (ب) و (ج) قرار دارند را مشاهده کنیم. با این وجود با توجه به افزایش فاصله زمانی بین پالس ها در نمونه (ب) احتمال قفل‌شدگی مد در این نمونه بیشتر است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش کردیم تا جاذب‌های اشباع‌پذیر از نانولوله‌های کربنی را به روش لایه‌نشانی افشانه‌ای ساخته و قابلیت آنها را برای تولید پالس‌های Q-سوییچ و قفل-کنندگی مد بررسی کنیم. در اینجا از دو نوع نانولوله کربنی تک دیواره و چند دیواره برای تهیه محلول مورد نیاز در لایه‌نشانی استفاده شده است. نمونه های ساخته شده توانستند پالس های لیزر را Q-سوییچ کنند. این نتایج امید بخش مارا به ساخت نمونه های بهینه شده و بدنبال آن ایجاد قطار پالس‌های منظم با پهنایی در حد چند پیکوثانیه ترغیب می‌کند و ما همچنان در حال بررسی و ساخت این نوع جاذب ها هستیم.

مراجع

[1] Z. H. Cong, et al., *Laser. Phys. Lett.*, no. 8, p. 107, 2011.

[2] L. Sun, et al., *Laser. Phys. Lett.*, no. 7, p. 711, 2010.

[3] B. Y. Zhang, G. Li, M. Chen, Z. G. Zhang, and Y. G. Wang, *Opt. Lett.*, no. 28, p. 1829, 2003.

[4] Y. W. Song, S. Yamashita, and C. S. Goh, *Opt. Lett.*, no. 32, p. 430, 2007.

[5] W. B. C. S. L. Y. H. A. K. K. J. H. Yim, *Appl. Phys. Lett.*, no. 93, p. 161106, 2008.

[6] Y. G. Wang and X. Y. Ma, "Single Wall Carbon Nanotube Absorber with Polarization Absorption Grown by Vertical Evaporation Method," *Laser Physics*, vol. 21, pp. 148-152, 2011.

[7] R. Paschotta, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*. Wiley VCH, 2008.

[8] S. Y. Set, C. S. Goh, D. Wang, H. Yaguchi, and S. Yamashita, *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 47, p. 6809, 2008.

[9] Y. G. W. a. X. Y. Ma, "Single Wall Carbon Nanotube Absorber with Polarization Absorption Grown by Vertical Evaporation Method," *Laser Physics*, vol. 21, p. 148–152, 2011.

[10] Z. Sun, et al., *Applied Physics Letters* , vol. 95, p. 253102, 2009.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]