بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

تأثیر تغییر ضخامت نانولایه‌ی $Ge_2Sb_2Te_5$ بر رفتار جذب در چندلایه‌های فوتونی نامتقارن یک بعدی

شیوا رشیدی[۱*]، صمد روشن انتظار[۱] و آرزو رشیدی[۲]

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز

[۲] گروه اتمی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

***sh.rashidi@tabrizu.ac.ir**

چکیده – در این مقاله، با تغییر ضخامت نانو لایه‌ی $Ge_2Sb_2Te_5$ (GST) در یک ساختار نامتقارن، خواص جذب بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که با انتخاب مناسب ضخامت آن، امکان افزایش جذب در هر یک از فازهای آمورف و یا بلورین GST فراهم است.

کلید واژه- افزایش جذب، فاز آمورف، فاز بلوری، نانو لایه‌ی GST

Influence of Changing the Thickness of $Ge_2Sb_2Te_5$ Nanolayer on Absorption Behavior in One-Dimensional Asymmetric Photonic Multilayers

Shiva Rashidi[1*], Samad Roshan Entezar[1], and Arezou Rashidi[2]

[1]Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz

[2]Department of Atomic and Molecular Physics, Faculty of Science, University of Mazandaran, Babolsar

***sh.rashidi@tabrizu.ac.ir**

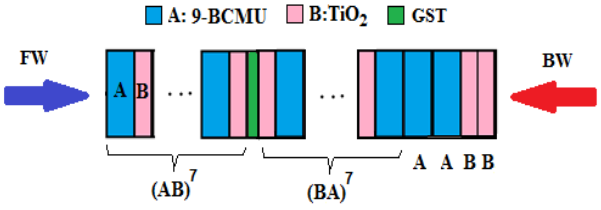
Abstract- In this paper, the absorption properties in an asymmetric structure are investigated by varying the thickness of $Ge_2Sb_2Te_5$ (GST) nanolayer. The results show that there is the possibility of obtaining absorption enhancement in either amorphous or crystalline phases of GST by an appropriate choice of its thickness.

Keywords: Absorption enhancement, Amorphous phase, Crystalline phase, GST nanolayer

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

مقدمه

یکی از چالش‌های بزرگی که در رابطه با ابزارهای فوتونیکی مطرح می‌شود، توانایی کنترل پاسخ‌های نوری آنها جهت نیل به اهداف کاربردی خاص می‌باشد. از میان هندسه‌های مختلفی که برای ساختارهای ابزار فوتونی پیشنهاد می‌شود، نانوساختارهای تناوبی که سنگ بنای بلورهای فوتونی می‌باشند، به دلیل ابعاد کوچکشان، قابلیت کنترل انتشار نور و افزایش اندرکنش نور با ماده را دارا هستند [۱]. ساده‌ترین آن‌ها، ساختارهای چندلایه‌ای یک بعدی‌اند که بدلیل سادگی در ساخت و قابلیت ادغام با سایر دستگاه‌ها از اهمیت بسزایی برخوردارند. از طرفی، استفاده از موادی با خواص نوری حساس به عوامل خارجی رویکرد مهمی را پیش‌روی تنظیم پاسخ‌های نوری سیستم‌های اپتیکی فراهم می‌کند. اخیرا، گروهی از ترکیبات شیمیایی بدلیل وجود بیش از یک فاز با خواص الکتریکی و نوری بسیار متفاوت که تحت عنوان مواد تغییر فاز شناخته می‌شوند، به عنوان کاندیدی جذاب برای کنترل و دستکاری نور در نظر گرفته شده‌اند [۲]. در میان آن‌ها، $Ge_2Sb_2Te_5$ (GST)، متداول‌ترین ماده از خانواده‌ی آلیاژ تلورید آنتیموان ژرمانیوم، در دمای بسیار بالا در حدود ۷۵۰ کلوین تغییر فاز آمورف به بلورین را تجربه می‌کنند. این ماده به دلیل خواص غیرفرار خود بسیار معروف است؛ طوری‌که حداقل به مدت ۱۰ سال در دمای اتاق، پایدار باقی می‌ماند [۳]. با الهام از این ویژگی‌ها، ما در این مقاله با جای دادن GST در ساختار تناوبی نامتقارن یک بعدی و تابش نور از هر دو طرف راست و چپ بر ساختار به مطالعه‌ی جذب نوری می‌پردازیم. هدف ما این است که اثر تغییر ضخامت نانولایه‌ی GST بر جذب را در هر دو فاز آمورف و بلورین بررسی کنیم.



شکل ۱: طرحواره‌ی ساختار مورد مطالعه. پیکان‌های آبی و قرمز به ترتیب امواج فرودی از طرف راست (FW) و چپ (BW) بر ساختار را نشان می‌دهند. در اینجا زاویه‌ی فرود عمود در نظر گرفته شده است.

مدل و فرمول‌بندی مسئله

شماتیکی از نانوساختار مورد مطالعه‌مان در شکل ۱ نمایش داده شده است که در آن لایه‌های A و B به ترتیب دی‌الکتریک‌های غیرمغناطیسی از جنس 9-BCMU و TiO_2 می‌باشند. لایه‌ی تغییر فاز GST به عنوان لایه‌ی نقص در کاواک فابری-پرو $(AB)^7(BA)^7$ جای گرفته است. لایه‌های AABB منجر به نامتقارن سازی ساختار شده است؛ طوری‌که امواج انتشاری راست‌رو (FW) و چپ‌رو (BW) دو نوع ساختار متفاوت را تجربه می‌کنند. ضرایب شکست لایه‌های A و B در ناحیه‌ی مادون قرمز نزدیک به ترتیب 1.55 و 2.3 می‌باشند. ضخامت آن‌ها نیز به صورت ربع طول‌موج ($\lambda_0 / 4n_{A,B}$) در نظر گرفته شده است که طول‌موج طراحی λ_0، 1000 نانومتر فرض شده است. در مورد GST نیز تابع دی‌الکتریک مختلط از مدل لورنتس-لورنز مطابق با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [۴]:

$$\varepsilon_{GST}(\lambda)=\frac{\varepsilon_a(\lambda)(\varepsilon_c(\lambda)+2)+2m(\varepsilon_c(\lambda)-\varepsilon_a(\lambda))}{(\varepsilon_c(\lambda)+2)-m(\varepsilon_c(\lambda)-\varepsilon_a(\lambda))}. \quad (۱)$$

در اینجا، m کسر پرشدگی GST است که برای حالت‌های آمورف (a-GST) و بلورین (c-GST) به ترتیب ۰ و ۱ می‌باشند. ε_a و ε_c به ترتیب توابع دی‌الکتریک a-GST و c-GST را بیان می‌کنند. برای محاسبه‌ی طیف جذب ساختار پیشنهادی از روش ماتریس انتقال استفاده می‌شود [۵]. در این روش، با استفاده از معادلات ماکسول، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در مرز بین لایه‌ها با استفاده از ماتریس‌های ۲×۲ بهم مرتبط می‌شوند. ماتریس انتقال کل

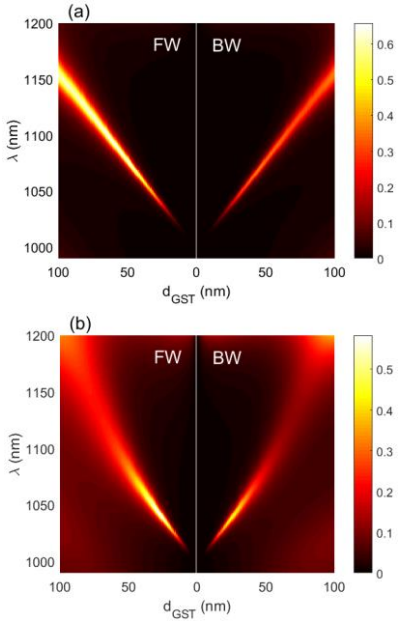
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

ساختار M حاصل‌ضرب ماتریس انتقال تک تک لایه‌ها می‌باشد. با در دست داشتن عناصر ماتریس انتقال کل، جذب ساختار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

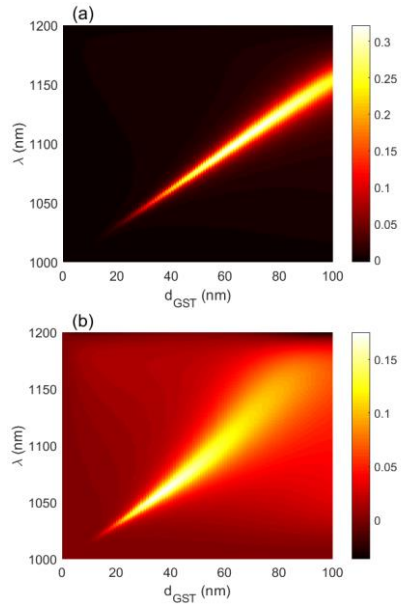
$$A=\frac{|M(1,1)|^2-|M(2,1)|^2-1}{|M(1,1)|^2}. \qquad (۲)$$

بحث و بررسی

از آنجایی که ضخامت لایه‌ی GST نقش مهمی را در قابلیت کوک‌پذیری ایفا می‌کند، به بررسی تأثیر آن بر رفتار جذب می‌پردازیم. شکل۲ طیف جذب مادون قرمز نزدیک در ساختار پیشنهادی را به صورت تابعی از ضخامت لایه‌ی GST (d_{GST}) در فازهای آمورف (a) و بلورین (b) برای فرود قائم نور نمایش می‌دهد. بخش‌های چپ و راست نمودار به ترتیب جهت‌های انتشاری FW و BW را نشان می‌دهند. همان‌طور که از شکل ۲ (a) پیدا است، مقادیر قله‌های جذب با افزایش ضخامت لایه‌ی a-GST تا حدود ۵۰ نانومتر، افزایش و سپس تقریباً ثابت باقی می‌مانند. با این‌حال برای مورد c-GST تنها در محدوده‌ی $20\ nm\leq d_{GST}\leq 30\ nm$ جذب افزایش یافته در ساختار مورد نظر حاصل می‌گردد (شکل ۲ (b)). بعلاوه، با افزایش d_{GST} پهنای قله‌های جذب افزایش و مکان آن‌ها نیز به سمت طول‌موج‌های بالاتر جابجا می‌شوند. همچنین، ملاحظه می‌گردد که قله‌های جذب در انتشار FW نسبت به BW بالاتر است. برای وضوح بیشتر، اختلاف جذب بین انتشار راست‌رو و چپ‌رو (A^{FW}-A^{BW}) در صفحه‌ی طول موج و d_{GST} برای فازهای آمورف و بلورین به ترتیب در شکل ۳ (a) و (b) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که بیشینه‌ی تباین برای حالت a-GST در حدود 0.32 است که در محدوده‌ی $50\ nm\leq d_{GST}\leq 80\ nm$ رخ می‌دهد. با این‌حال در مورد c-GST، تباین بسیار پایینی در حدود 0.17 در محدوده‌ی $30\ nm\leq d_{GST}\leq 40\ nm$ حاصل می‌شود. به عبارتی با تغییر فاز GST از آمورف به بلورین، حساسیت جذب به جهت تابش نور در ساختار موردنظر بسیار کاهش می‌یابد که برای اهداف تک سویگی مناسب



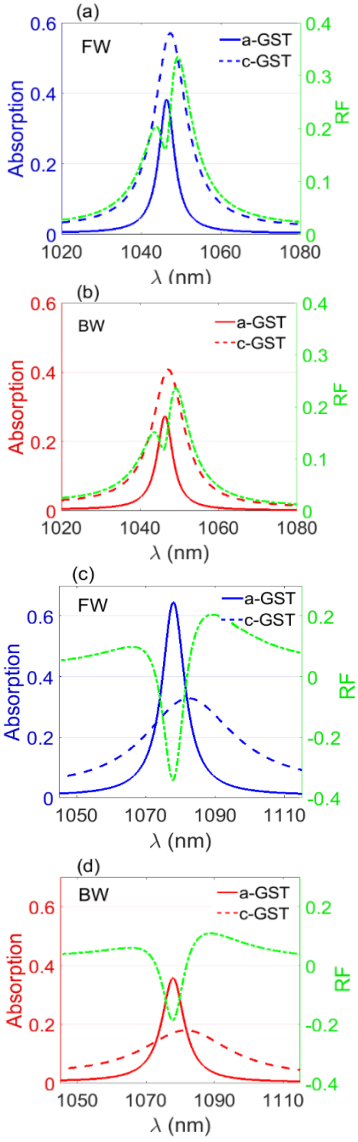
شکل ۲: وابستگی طیف جذب ساختار به ضخامت لایه‌ی GST برای فازهای آمورف (a) و بلورین (b). بخش‌های سمت چپ و راست نمودار به ترتیب امواج انتشاری راست‌رو (FW) و چپ‌رو (BW) را نمایش می‌دهند.



شکل ۳: اختلاف جذب بین امواج انتشاری راست‌رو و چپ‌رو (A^{FW}-A^{BW}) در صفحه‌ی طول موج و ضخامت لایه‌ی GST برای فازهای آمورف (a) و بلورین (b).

نیستند. برای نمایش بیشتر در شکل ۴ طیف جذب در هر یک از جهت‌های FW و BW، برای حالت‌های a-GST (خطوط پر) و c-GST (خط چین‌ها) همراه با تفاوت جذب بین این فازها که با پارامتر بازآرایی $RF=A^{c\text{-}GST}-A^{a\text{-}GST}$ (

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



شکل ۴: وابستگی جذب ساختار به طول‌موج برای GST در فازهای آمورف a-GST (منحنی‌های خط پر) و بلورین c-GST (منحنی‌های خط چین) همراه با جذب بازآرایی‌پذیر $RF=A^{c\text{-}GST}-A^{a\text{-}GST}$ (منحنی-های نقطه-خط‌چین) برای امواج انتشاری راست‌رو (FW) و چپ‌رو (BW). در اینجا ضخامت لایه‌ی GST، ۳۰ نانومتر (a, b) و ۵۰ نانومتر (c, d) انتخاب شده‌اند.

خطوط تیره-نقطه‌چین) معرفی شده است، برای ضخامت-های ۳۰ نانومتر (a, b) و ۵۰ نانومتر (c, d) ارائه کرده‌ایم. هنگامی‌که d_{GST}=30 *nm* طراحی شود، بیشینه‌ی جذب در فاز بلورین حاصل می‌شود که برای جهت‌های انتشاری FW و BW به ترتیب در حدود 0.57 و 0.41 می‌باشند. با تغییر ضخامت به d_{GST}=50 *nm* بیشینه‌ی جذب در فاز آمورف حاصل می‌شود که برای جهت‌های FW و BW به ترتیب عبارتند از 0.65 و 0.36. جالب این‌که، بیشینه مقدار RF برای جهت انتشاری FW در مورد هر دو ضخامت 30 و 50 نانومتر برابر است با 0.34. بنابراین، با انتخاب مناسب ضخامت لایه‌ی GST، امکان حصول جذب افزایش یافته در هر یک از فازهای آمورف و بلورین وجود دارد. به عبارت دیگر، بعد از طراحی ساختار در ضخامت ثابت، تغییر حالت ماده‌ی تغییر فاز GST می‌تواند مقدار جذب را تغییر دهد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر تغییر ضخامت نانولایه GST بر رفتار جذب در یک ساختار نامتقارن بررسی شده است. مشاهده می‌شود که با تغییر ضخامت این لایه می‌توان در هر یک از فازهای آمورف یا بلوری به جذب افزایش‌یافته دست یافت. همچنین، با انتخاب مناسب ضخامت، بیشینه تباین بین جذب‌های FW و BW در فاز آمورف صورت می‌گیرد که در حدود 0.32 است.

مرجع‌ها

[1] K. Busch, G. Freymann, S. Linden, S.F. Mingaleev, L. Tkeshelashvili, M. Wegener, "Periodic nanostructures for photonics", Phys. Rep. Vol. 444, pp. 101-202, 2007.

[2] H. Y. Wu, W. Wang, W. J. Lu, "Temperature-dependent electrical transport mechanism in amorphous $Ge_2Sb_2Te_5$ films", Phys. Status Solidi, Vol. 253 pp. 1-6, 2016.

[3] R. Huang, K. Sun, K. S. Kiang, R. Chen, Y. Wang, B. Gholipour, D. W. Hewak, C. H. De Groot, "Contact resistance measurement of $Ge_2Sb_2Te_5$ phase change material to TiN electrode by spacer etched nanowire", Semicond. Sci. Technol. Vol. 29, pp. 095003-095011, 2014.

[4] D. E. Aspnes, "Local-filed effects and effective-medium theory: a microscopic perspective", Am. J. Phys., Vol. 50, pp. 704-709, 1982.

[5] F. L. Pedrotti, L. S. Pedrotti, "Introduction to optics"; 2th edition, New Jersey, EU: Prentice-Hall, 1993.

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