تأثیر حضور نانو لایه گرافن در انعکاس ناوردای نور در پدیده جابه‌جایی جانبی گوس-هانچن

علی محمدپور*، جمال بروستانی، علی سلطانی والا

دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (* a.m.pour@tabrizu.ac.ir)

ساختارهایی تحت عنوان بلورهای فوتونی که شاخص شکست مواد تشکیل دهنده آن‌ها به طور متناوب تکرار می‌شود، از ریزساختارها یا نانوساختارهای دی‌الکتریک، فلز-دی‌الکتریک یا حتی ابررساناها تشکیل می‌شوند، که بر انتشار امواج الکترومغناطیسی تأثیر می‌گذارند. مشابه تأثیری که پتانسیل متناوب در یک بلور نیمه‌هادی بر انتشار الکترون‌ها گذاشته و نوارهای انرژی الکترونی مجاز و ممنوع را تعیین می‌نماید. تقارن پاریته-زمان در اپتیک، که الهام گرفته از سامانه‌های مرتبط با هامیلتونی‌های غیرهرمیتی در مباحث مکانیک کوانتومی است، دلالت بر این دارد که شاخص شکستِ ساختار طبق شرط: $n(\vec{r})=n^*(-\vec{r})$ ارضا شود. با توجه به نظم و ترتیب قرارگیری لایه‌ها در کنار هم، ساختارهای شبه‌متناوبِ فوتونی یک‌بُعدی در حضور تقارن پاریته-زمان، به دلیل تأثیرات منحصر به فردی که تقارن روی برهم‌کنش نور با ماده دارد، در پژوهش‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، یک ساختار شبه‌متناوب یک‌بُعدی متشکل از دو بلور فوتونی متمایز در ترتیب قرارگیری لایه‌ها در کنار یکدیگر با تعداد تناوب مشخص در نظر گرفته شده است. در مرکزیت ساختار یعنی در فصل مشترک دو بلور، نانو لایه گرافن قرار گرفته و دو لایه دیگر با شاخص‌های شکست موهومی و ارضای شرط تقارن پاریته-زمان نسبت به مرکز در دو قسمت انتهایی ساختار، در سمت چپ و سمت راست با نامگذاری لایه‌های پوسته حضور دارند. در ابتدا با بررسی طیف‌های عبور و انعکاس روبه‌جلو و روبه‌عقب موقعیتِ زاویه‌ای نقاط استثنائی وابسته به ساختار شناسایی شده است. با تنظیم مشخصه‌های موهومی مربوط به شاخص شکست لایه‌های پوسته که از آن‌ها تحت عنوان ضریب لایه‌های بهره و اتلاف یاد می‌شود، خاصیت‌های فیزیکی جالب توجهی از جمله شفافیت تک‌جهته و دوجهته و همچنین جذب کامل همدوس بدست می‌آید. با بررسی تغییرات فازهای مربوط به این طیف‌ها و محاسبه ویژه‌مقادیر ماتریس پراکندگی ملاحظه می‌کنیم در حالتی که طیف عبور با یکی از مؤلفه‌های طیف انعکاس به طور همزمان بیشینه شده و مؤلفه دیگر مقداری نزدیک به صفر دارد، خاصیت شفافیت تک‌جهته و در صورت حصول مقدار صفر برای هر دو مؤلفه، خاصیت شفافیت دوجهته را خواهیم داشت. از طرفی دیگر، حالتی در ساختارِ مورد بررسی پیش می‌آید که در آن مقادیر تمامی طیف‌ها به ازای زاویه‌ای مشخص تؤامان بیشینه شده و خاصیت فیزیکی جذب کامل همدوس رخ می‌دهد. در قدم بعدی، پدیده جابه‌جایی جانبی گوس-هانچن به ازای تغییرات فازِ مؤلفه‌های انعکاس بر حسب زاویه فرود موج الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه شد که در حالتی که نانو لایه گرافن حضور ندارد قله‌های ظاهر شده برای این جابه‌جایی برای هر دو مؤلفه‌ی انعکاس مثبت بوده و با افزایش زاویه سه قله ظاهر می‌شود. در حضور گرافن برای مؤلفه‌ی انعکاس روبه‌جلو در زاویه ۷۴/۳° درجه درّه‌ای به مقدار $\Delta=-5/24\lambda$ پدیدار گشته و این رفتار برای مؤلفه‌ی دیگر رخ نمی‌دهد و رفتار آن مشابه حالت عدم حضور گرافن می‌باشد. این پدیده خاصیت ناوردایی را به ازای زوایای مشخص برای مؤلفه‌های انعکاس به نمایش می‌گذارد. در نهایت، با ثابت نگه‌داشتن ضریب بهره و اتلاف برابر با مقدار ۰/۱۵، که از ابتدا نتایج‌مان بر اساس این مقدار بود، قسمت حقیقی شاخص شکست لایه‌های بهره و اتلاف را تغییر دادیم و مشاهده کردیم که پدیده جذب کامل همدوس که قبلاً به آن اشاره شد، در زاویه ۵۰/۲° درجه و به ازای شاخص شکست حقیقی برابر با مقدار ۲/۹ رخ می‌دهد. خاصیت تنظیم‌پذیری شاخصه‌های مختلف وابسته به ساختار، این امکان را فراهم می‌آورد که بتوانیم از آن‌ها در قطعات اپتوالکترونیکی مختلف بهره گرفته و عملکرد و بازدهی آن‌ها را بالاتر بریم.