ساختارنوار نوری در یک بلور نوری دو بعدی با میله های دی الکتریک غیر همسانگـرد توخالی

رضائی، بهروز؛ کلافی، منوچهر

پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی دانشگاه تبریز

چکیده

ساختار نوار نوری شبکه دو بعدی هگزاگونال که شامل میله های دی الکتریک توخالی از جنس تلوریوم(Te) با سطح مقطع دایروی است ، با استفاده از روش موج تخت محاسبه می شود. در مقایسه با حالتی که میله های تلوریم توپر هستند ، بلور نوری با میله های تلوریم توخالی نوار ممنوع بزگتری را در ناحیه فرکانسهای بالا نشان می دهد.

مقدمه

در سالهای اخیر ساخت و خصوصیات فیزیکی بلورهای نوری[۱] ، بخاطر خواص نوری فوق العاده آنها ، توجه قابل ملاحظه ای را به خود جلب کرده است. از نقطه نظر فیزیک نظری ، بلورهای نوری توسط ساختار نواریشان توصیف می شوند. مشخصه عمده بلورهای نوری ، نوار ممنوع نوری[۲] (ناحیه فرکانسی که انتشار مدهای الکترومغناطیسی ممنوع است) آنها می باشد. اگرچه بلورهای نوری سه بعدی ممکن است کاربردهای بیشتری داشته باشند ، اما بلورهای نوری دو بعدی نیز به شدت مورد مطالعه قرار گرفته اند ، زیرا از نظر ساخت آسانتر بوده و ممکن است در ابزارهای نوری و الکترونیکی استفاده شوند. در بلورهای نوری دو بعدی امواج الکترومغناطیسی می توانند به مدهای قطبشی الکتریکی و مغناطیسی تجزیه شوند. یک نوار ممنوع نوری کامل[۳] برای بلورهای نوری دو بعدی تنها در صورتی وجود دارد که نوارهای ممنوع برای هر دو مدهای قطبشی بطور همزمان وجود داشته و باهم همپوشانی کنند. واضح است که داشتن نوار ممنوع نوری بزرگ بعنوان پایه و اساس برای کاربردهای گوناگون بلورهای نوری از قبیل موجبرهای نوری ، میکروکاواکی [۱] و لیزرهای بلور نوری [۲] میباشد. لذا هدف از انجام این تحقیق بهینه کردن پارامترهای ساختاری بلور نوری برای بدست آوردن نوار ممنوع نوری بزرگ و محاسبه ساختار نواری می باشد.

روش محاسبات

در مواد دی الکتریک غیر همگن معادله ماکسول[۴] برای میدان مغناطیسی بصورت زیر است[۳]:

$$\nabla \times [\frac{1}{\varepsilon(r)} \nabla \times H(r)] = \frac{\omega^2}{c^2} H(r) \qquad (۱)$$

که در آن c سرعت نور است.

1-Photonic crystal

2-Photonic band gap

3-Absolute photonic band gap

4-Maxwell

در یک بلور نوری دو بعدی که شامل یک آرایه متناوب از میله های دی الکتریک می باشد ، فرض می شود که میله های دی الکتریک در جهت محور z قرار گرفته اند و تقاطع آنها با صفحه $x-y$ تشکیل یک ساختار دی الکتریک متناوب دو بعدی می دهد بطوریکه تابع دی الکتریک $\varepsilon(r)$ دارای تناوب شبکه است. با بسط میدان مغناطیسی بر حسب امواج تخت (موسوم به روش بسط موج تخت[1]) معادله (۱) بطور جداگانه منجر به دو معادله ویژه مقداری برای قطبشهای الکتریکی و مغناطیسی می شود[۳]:

$$\det | A(K,K') - \frac{\omega^2}{c^2} | = 0 \qquad (۲)$$

در حالت قطبش الکتریکی که میدان الکتریکی $E(r)$ موازی محور z و میدان مغناطیسی $H(r)$ در صفحه $x-y$ است ، داریم :

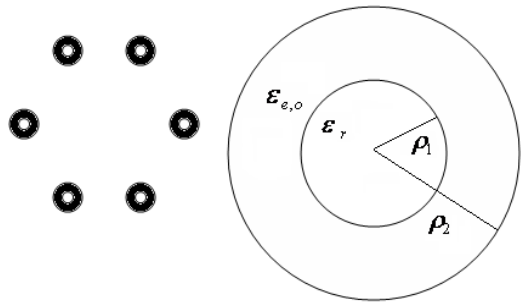
$$A(K,K') = | K | | K' | \eta(K-K') \qquad (۳)$$

و برای قطبش مغناطیسی ($H(r)$موازی محور z) نیز معادله زیر را داریم:

$$A(K,K') = K.K' \eta(K-K') \qquad (۴)$$

در روابط فوق $K = k + G$ ، $K' = k + G'$ می باشد که در آن k بردار موج در ناحیه اول بریلوئن ، G و G' بردارهای شبکه معکوس و $\eta(K-K')$ تبدیل فوریه عکس تابع دی الکتریک می باشد و نقش عمده را در تعیین ساختار نوار نوری برای هر دو قطبش بازی میکند و تمام اطلاعات ساختاری بلورها در آن مستتر است.

بلور نوری بررسی شده دراین مقاله بصورت یک شبکه هگزاگونال از میله های دی الکتریک با سطح مقطع دایروی می باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل۱ :نمودار شماعی شبکه دو بعدی هگزاگونال از میله های دی الکتریک دایروی، شامل میله داخلی و لایه خارجی غیر همسانگرد

این میله ها در جهت محور z بطور متناوب در یک زمینه یکنواخت با ثابت دی الکتریک ε_b قرار گرفته اند و شامل یک میله داخلی با ثابت دی الکتریک ε_r و یک لایه خارجی میباشند. لایه خارجی را بصورت یک ماده غیر همسانگرد[2] انتخاب می کنیم که دارای دو ضریب شکست متفاوت عادی و غیر عادی است بطوریکه محور غیر عادی

1-Plane-wave expansion method

2-Anisotropic

را موازی با محور z در نظر می گیریم. برای مدهای قطبشی الکتریکی و مغناطیسی ضرایب شکست ماده لایه خارجی به ترتیب n_e و n_o هستند.

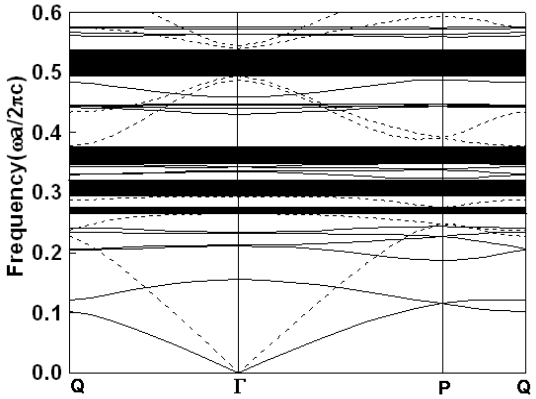
تابع $\eta(G)$ برای چنین ساختاری به شکل زیر بدست آمده است :

$$\eta(G)=\begin{cases}\dfrac{1}{\varepsilon_b}+\dfrac{2\pi\rho_1^2}{S_{cell}}(\dfrac{1}{\varepsilon_r}-\dfrac{1}{\varepsilon_b})+\dfrac{2\pi}{S_{cell}}(\rho_2^2-\rho_1^2)(\dfrac{1}{\varepsilon_{e,o}}-\dfrac{1}{\varepsilon_b}),G=0\\ \dfrac{4\pi}{S_{cell}G}\cos(G.u)\{(\dfrac{1}{\varepsilon_r}-\dfrac{1}{\varepsilon_b})\rho_1 J_1(\rho_1 G)+(\dfrac{1}{\varepsilon_{e,o}}-\dfrac{1}{\varepsilon_b})[\rho_2 J_1(\rho_2 G)-\rho_1 J_1(\rho_1 G)]\},G\neq 0\end{cases} \quad (۵)$$

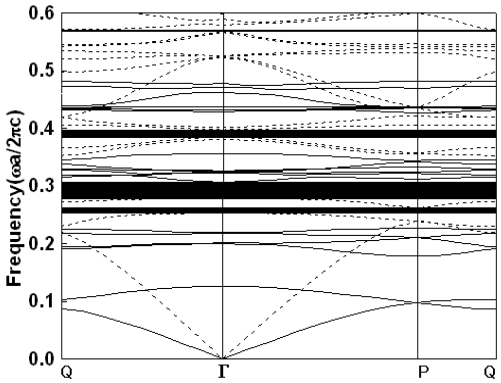
در رابطه فوق $\varepsilon_e=n_e^2$، $\varepsilon_o=n_o^2$ تابع بسل مرتبه اول ، $J_1(x)$ و ρ_1 و ρ_2 نیز به ترتیب شعاعهای داخلی و خارجی میله های دی الکتریک میباشد. S_{cell} مساحت سلول اولیه است که شامل دو میله در مکانهای u_1 و $u_2=-u_1=a(0,1)$ میباشد که به دلیل تقارن داریم $u=u_2=-u_1$ و a ثابت شبکه است.

نتیجه گیری

با توجه به بررسیهای نظری فوق میتوان ساختار نواری یک بلور نوری دو بعدی را محاسبه کرد. شبکه مورد برسی در این مقاله یک شبکه هگزاگونال دو بعدی است که از میله های دی الکتریک توخالی تلوریم (Te) با سطح مقطع دایروی ، بصورت نشان داده شده در شکل ۱ ، تشکیل یافته است. ماده دی الکتریک Te دارای تک محور بلوری مثبت با ضرایب شکست عادی $n_o=4.8$ و غیر عادی $n_e=6.2$ میباشد. ماده زمینه هوا میباشد ، یعنی $\varepsilon_b=\varepsilon_r=1$ است. در این شبکه دو پارامتر هندسی ρ_1 و ρ_2 بعنوان پارامترهای قابل تنظیم برای بدست آوردن ماگزیمم نوار ممنوع نوری انتخاب شده است. با انتخاب مناسب از این پارامترها، یعنی $\rho_1=.13a$ و $\rho_2=.33a$، ساختار نواری محاسبه شده در شکل ۲ نشان داده شده است که دارای ماگزیمم نوار نوری کامل(ناحیه سیاه رنگ) برابر با $\Delta\omega=0.0458(2\pi c/a)$ میباشد. همچنین ساختار نوار نوری محاسبه شده برای شبکه هگزاگونال فوق در حالتی که میله های دی الکتریک توپر هستند ، یعنی $\rho_1=0$ و $\rho_2=.33a$ ، در شکل ۳ نشان داده شده است. در این حالت ماگزیمم نوار ممنوع کامل دارای مقدار $\Delta\omega=.0287(2\pi c/a)$ است که اولا در مقایسه با حالت قبلی کوچک است ، ثانیا موقعیت آن از نظر فرکانسی در محدوده $0.2781(a/2\pi c)$ و $0.3068(a/2\pi c)$ قرار دارد. اما نوار ممنوع نوری در حالت قبلی مابین فرکانسهای $0.4942(a/2\pi c)$ و $0.54(a/2\pi c)$ قرار دارد که از نقطه نظر ساخت مناسبتر است ، زیرا داشتن نوار ممنوع بزرگ در فرکانسهای بالا متناظر با ثابت شبکه بزرگ است.



شکل۲ ۰ ساختار نوار نوری شبکه هگزاگونال متشکل از میله های توخالی تلوریم (Te)
برای مدهای الکتریکی(پررنگ) و مغناطیسی(نقطه چین)



شکل۳ : ساختار نوار نوری شبکه هگزاگونال متشکل از میله های توپر تلوریم (Te)
برای مدهای الکتریکی(پررنگ) و مغناطیسی(نقطه چین)

مراجع

1. A.Mekis, J.C. Chen, I. Kurland, S. Fan, P.R. Villeneuve, and J.D.Joannopoulos, *Phys. Rev.Lett*. **77**, 3787 (1996).
2. O. Painter, R.K. Lee, A. Scherer, A. Yariv, J.D. OBrien, P.D. Dapkus, and I. Kim, *Science* **284**, 1819 (1999).
3. M. Plihal and A.A. Maradudin, *Phys. Rev. B* **44**, 8565 (1991).