



دانشگاه یزد
دانشکده فیزیک
گروه اتمی و مولکولی

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

انتشار امواج الکترومغناطیسی درون بلورهای فوتونیک پلاسمایی

استاد راهنما
دکتر مهدی شریفیان

استادان مشاور
دکتر عباس بهجت
دکتر محمود برهانی

پژوهش و نگارش
الهه عطائی

اسفند ۱۳۹۲

کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، هم‌چنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم بہ

مقدس ترین واژہ ہا در لغت نامہ دلم ؛

مادر مہربانم ؛ کہ زندگیم را دیدیون مہر و عطفوت آن میدانم .

پدرم ؛ مہربانی مشفق ، بردبار و حامی .

و خواہرم ؛ ہمراہ ، ہمیشگی و پشتوانہ می زندگیم .

سپاس

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که، هستی ما را بخشید و به طریق علم و دانش را، نمونه‌مان شد

و به، همشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را

روزمان ساخت.

قدردانی

اکنون که موفق به انجام این تحقیق گشته‌ام، بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمای ارجمندم، جناب آقای دکتر مهدی شریفیان، که در راه کسب علم و معرفت آن چه در توان داشتم برای من انجام دادند و بدون مساعدت‌های ایشان این پروژه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید، سپاسگزارم.

از اساتید مشاور بزرگوارم، جناب آقای دکتر عباس بخت و جناب آقای دکتر محمود برهانی که از هیچ‌کلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

اساتید محترم، جناب آقای دکتر محمد کاظم توسلی و سرکار خانم دکتر لیلا غلام زاده که قبول زحمت فرمودند و داوری دفاعیه اینجانب را قبول نمودند کمال تشکر را دارم.

چکیده

در این رساله، به بررسی رابطه بازتاب در بلور فوتونیک پلاسمایی یک بعدی می‌پردازیم. بلور فوتونیک پلاسمایی یک بعدی با ساختار چهار لایه (پلاسمای ۱) - (MgF_2) - (پلاسمای ۲) - (شیشه) در یک سلول واحد در نظر گرفته شده است. رابطه بازتاب را با استفاده از روش ماتریس انتقال به دست آورده و اثرات پارامترهای مختلف مانند: تعداد سلول‌های واحد، دو فرکانس نرمالیزه پلاسمای، زاویه فرودی، میدان مغناطیسی خارجی بررسی می‌کنیم. نوارهای گاف فوتونیک در تمام حالت‌ها قابل مشاهده است. با تغییر دو فرکانس نرمالیزه پلاسمای، زاویه فرودی و میدان مغناطیسی خارجی مشاهده می‌کنیم که مکان و پهنای نوار گاف فوتونیک تغییر می‌کند. همچنین با تغییر میدان مغناطیسی خارجی فارادی تعداد نوارهای گاف فوتونی تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی:

بلور فوتونیک پلاسمایی، رابطه بازتاب، نوار گاف فوتونیک

صفحه

فهرست عناوین

۱	فصل اول مقدمه
۳	۱-۱ - مفاهیم اولیه اپتیکی
۴	۱-۱-۱ - قانون اسنل [۱]
۵	۲-۱-۱ - معادلات فرنل
۷	۳-۱-۱ - زاویه بروستر [۱]
۸	۴-۱-۱ - نظریه فیلم‌های چندلایه‌ای [۳]
۱۳	۵-۱-۱ - قانون براگ [۱]
۱۵	۲-۱ - آشنایی با بلورهای فوتونیک
۱۶	۱-۲-۱ - نوار گاف فوتونیک
۱۷	۲-۲-۱ - بلورهای فوتونیک یک بعدی
۱۸	۳-۲-۱ - روش‌های ساخت بلورهای فوتونیک [۵]
۱۹	۴-۲-۱ - کاربردهای بلورهای فوتونیک [۵]
۲۰	۳-۱ - فیزیک پلاسما
۲۱	۱-۳-۱ - مفاهیم اساسی یک محیط پلاسمایی
۲۱	۱-۱-۳-۱ - شبه خنثایی
۲۱	۲-۱-۳-۱ - رفتار جمعی
۲۱	۳-۱-۳-۱ - چگالی ذرات (n_0)
۲۲	۴-۱-۳-۱ - درجه‌ی یونیزاسیون
۲۲	۵-۱-۳-۱ - دمای پلاسما
۲۳	۶-۱-۳-۱ - طول دمای
۲۴	۷-۱-۳-۱ - فرکانس پلاسما
۲۴	۸-۱-۳-۱ - تقریب پلاسما و تقریب گازی
۲۵	۲-۳-۱ - نحوه تولید پلاسما
۲۶	۱-۲-۳-۱ - تولید پلاسما با استفاده از امواج سطحی
۲۷	۳-۳-۱ - کاربردهای فیزیک پلاسما [۱۵]
۲۹	فصل دوم بلورهای فوتونیک پلاسمایی
۳۱	۱-۲ - مقدمه

۳۲	۲-۲ - بلور فوتونیکی پلاسمایی
۳۴	۳-۲ - کاربردهای بلور فوتونیکی پلاسمایی
۳۵	۴-۲ - معادلات پایه ساختارهای 1D PPC دوتایی
۳۸	۵-۲ - معادلات پایه ساختارهای 1D PPC سه‌تایی
۴۰	۶-۲ - مروری بر تحقیقات انجام شده توسط محققان
۶۳	۳ فصل سوم معرفی و بررسی ساختار پیشنهادی
۶۵	۱-۳ - مقدمه
۶۵	۲-۳ - تئوری و حل تحلیلی
۶۶	۱-۲-۳ - محاسبه ضرایب شکست
۶۶	۱-۱-۲-۳ - بلور فوتونیکی پلاسمایی غیرمغناطیده
۶۶	۲-۱-۲-۳ - بلور فوتونیکی پلاسمایی مغناطیده
۶۸	۲-۲-۳ - محاسبه ماتریس انتقال (TMM)
۷۰	۱-۲-۳ - محاسبه روابطه پاشندگی، بازتاب و عبور
۷۳	۳-۳ - بحث و بررسی
۷۴	۱-۳-۳ - تحلیل و بررسی نمودارهای بازتاب
۷۴	۱-۱-۳-۳ - اثر تغییر تعداد تناوب
۷۵	۲-۱-۳-۳ - اثر تغییر فرکانس نرمالیزه دو پلازما
۷۷	۳-۱-۳-۳ - اثر تغییر زاویه فرودی
۸۲	۴-۱-۳-۳ - اثر تغییر میدان مغناطیسی فارادی
۸۸	۵-۱-۳-۳ - اثر تغییر میدان مغناطیسی ویجت
۹۲	۲-۳-۳ - تحلیل و بررسی نمودارهای پاشندگی
۹۲	۱-۲-۳-۳ - اثر تغییر فرکانس نرمالیزه دو پلازما
۹۳	۲-۲-۳-۳ - اثر تغییر زاویه فرودی
۹۴	۳-۲-۳-۳ - اثر تغییر میدان مغناطیسی فارادی
۹۵	۴-۲-۳-۳ - اثر تغییر میدان مغناطیسی ویجت
۹۷	نتیجه‌گیری
۹۸	پیشنهادات
۹۹	منابع و مراجع

صفحه

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ شکست پرتو در مرکز یک دی الکتریک [۱] ۵
- شکل ۲-۱ نمادسازی قطبش برای بازتاب فرنل؛ سمت راست: قطبش TE، سمت چپ: قطبش TM [۱] ۶
- شکل ۳-۱ بردارهای موج و میدان‌های الکتریکی وابسته برای حالت فرود مایل بر تک لایه دی الکتریک [۳] ۹
- شکل ۴-۱ هندسه پراش برای یک شبکه ضخیم، زوایای تابش و پراش یکسان بوده و توسط شرط براگ تعیین می‌شود [۱] ۱۳
- شکل ۵-۱ بدست آوردن معادله براگ [۱] ۱۴
- شکل ۶-۱ توضیح ترسیمی از بلورهای فوتونیک یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی [۴] ۱۶
- شکل ۷-۱ نمونه‌ای از بلورهای فوتونیک یک، دو و سه بعدی به ترتیب از سمت چپ [۶] ۱۶
- شکل ۸-۱ ساختار نوار گاف فوتونیک بلور فوتونیک یک بعدی [۴] ۱۷
- شکل ۹-۱ بلور فوتونیک یک بعدی [۸] ۱۸
- شکل ۱۰-۲ بلور فوتونیک پلاسمایی دو بعدی [۱۶] ۳۳
- شکل ۲-۲ تصویر شماتیک انتشار موج در 1D PPC؛ a ضخامت پلاσμα، b ضخامت ماده زمینه (دی الکتریک) و $\Lambda = a + b$ پهنای سلول واحد [۴۳] ۳۵
- شکل ۳-۲ تصویر شماتیک 1D PPC سه تایی در یک سلول واحد [۴۶] ۳۸
- شکل ۴-۲ نمودار ضریب عبور TC بر حسب مقادیر فرکانس $\omega\Lambda/2\pi c$ برای مقادیر $N=2, 3, 5, 50$ [۵۲] ۴۲
- شکل ۵-۲ نمودار پاشندگی برای $f = a/\Lambda = 0.1, 0.5$ (تابش عمودی) [۴۳] ۴۳
- شکل ۶-۲ نمودار پاشندگی برای $\epsilon_b = 1, 5$ (تابش عمودی) [۴۳] ۴۴
- شکل ۷-۲ نمودار پاشندگی برای تابش عمودی، قطبش S و P [۴۳] ۴۴
- شکل ۸-۲ ساختار نوار گاف فوتونیک برای $\omega_p\Lambda/2\pi c = 1$ ، $\epsilon_b = 1$ ، $f = a/\Lambda = 0.1$ (خط) و $f = a/\Lambda = 0.3$ (نقطه چین) [۳۳] ۴۵
- شکل ۹-۲ طیف بازتاب برای $\omega_p\Lambda/2\pi c = 1$ ، $\epsilon_b = 1$ ، $f = a/\Lambda = 0.1$ (خط) و $f = a/\Lambda = 0.3$ (نقطه چین) [۳۳] ۴۶
- شکل ۱۰-۲ ساختار نوار گاف فوتونیک برای $\omega_p\Lambda/2\pi c = 1$ ، $f = a/\Lambda = 0.1$ ، $\epsilon_b = 1$ (خط) و $\epsilon_b = 2$ (نقطه چین) [۳۳] ۴۶
- شکل ۱۱-۲ طیف بازتاب برای $\omega_p\Lambda/2\pi c = 1$ ، $f = a/\Lambda = 0.1$ ، $\epsilon_b = 1$ (خط) و $\epsilon_b = 2$ (نقطه چین) [۳۳] ۴۶

- ۴۷
 شکل ۱۲-۲ نمودار پاشندگی ساختار MgF_2 -Plasma-Glass برحسب فرکانس نرمالیزه برای (الف) $a=b=l=500\mu m$ ؛ (ب) $a=l=500\mu m$ ، $b=1000\mu m$ (ج) $a=l=100\mu m$ ، $b=500\mu m$ و (ا) $P=\omega_p b/c=1$ (b) ، $P=\omega_p b/c=2$ (c) ، $P=\omega_p b/c=3$ [۴۸] ۴۸
 شکل ۱۳-۲ نمودار پاشندگی ساختار ZnS -Plasma-Glass برحسب فرکانس نرمالیزه برای (الف) $a=b=l=500\mu m$ ؛ (ب) $a=l=500\mu m$ ، $b=1000\mu m$ (ج) $a=l=100\mu m$ ، $b=500\mu m$ و (ا) $P=\omega_p b/c=1$ (b) ، $P=\omega_p b/c=2$ (c) ، $P=\omega_p b/c=3$ [۵۶] ۴۹
 شکل ۱۴-۲ بازتاب در 1D PC دوتایی با زوایای فرودی مختلف [۴۹] ۵۰
 شکل ۱۵-۲ بازتاب 1D PPC سه‌تایی با ضخامت‌های مختلف پلاسما [۴۹] ۵۰
 شکل ۱۶-۲ لبه راست و چپ نوارها برحسب تابعی از ضخامت‌های پلاسما [۴۹] ۵۱
 شکل ۱۷-۲ بازتاب در 1D PPC سه‌تایی با زوایای فرودی مختلف [۴۹] ۵۱
 شکل ۱۸-۲ نمودار پاشندگی برای 1D PPC سه‌تایی در $P=1$ ، $b=1000\mu m$ ، $\gamma=9/\omega_p=0.05$ ، $\theta_0=\pi/4$ و $\epsilon_1=6$ ، $\epsilon_3=2$ برای ضخامت دی‌الکتریک متفاوت [۴۷] ۵۲
 شکل ۱۹-۲ نمودار پاشندگی برای 1D PPC سه‌تایی در $P=1$ ، $a=l=500\mu m$ ، $b=1000\mu m$ ، $\gamma=0.05$ و $\theta_0=\pi/4$ برای ثابت گذردهی الکتریکی متفاوت لایه دی‌الکتریک [۴۷] ۵۳
 شکل ۲۰-۲ نمودار پاشندگی برای 1D PPC سه‌تایی در $P=1$ ، $a=l=500\mu m$ ، $b=100\mu m$ ، $\gamma=0.01$ ، $\epsilon_1=2.250$ ، $\epsilon_3=1.944$ و $\theta_0=0, \pi/6, \pi/3$ [۴۷] ۵۳
 شکل ۲۱-۲ نمودار پاشندگی برای 1D PPC سه‌تایی در $P=1$ ، $a=l=500\mu m$ ، $b=100\mu m$ ، $\gamma=0.01, 0.05$ و $\theta_0=\pi/4$ ، $\epsilon_3=1.944$ ، $\epsilon_1=2.250$ [۴۷] ۵۴
 شکل ۲۲-۲ بازتاب در 1D PPC دوتایی برای $t_1/\Lambda=0.5$ ، $t_2/\Lambda=0.5$ ، $\epsilon_2=19$ ، $\theta_0=\pi/6$ و $N=3$ با (a) $P=0.2$ (b) ، $P=0.5$ و (c) $P=1$ [۵۱] ۵۵
 شکل ۲۳-۲ بازتاب در 1D PPC سه‌تایی برای $a/\Lambda=0.4$ ، $b/\Lambda=0.5$ ، $l/\Lambda=0.1$ ، $\epsilon_1=4$ ، $\epsilon_3=15$ ، $\theta_0=\pi/6$ و $N=3$ با (a) $P=0.2$ (b) ، $P=0.5$ و (c) $P=1$ [۵۱] ۵۵
 شکل ۲۴-۲ بازتاب در 1D PPC دوتایی برای $t_1/\Lambda=0.5$ ، $t_2/\Lambda=0.5$ ، $\epsilon_2=19$ و $\theta_0=\pi/6$ با (a) $N=5$ (b) ، $N=15$ و (c) $N=70$ [۵۱] ۵۶
 شکل ۲۵-۲ بازتاب در 1D PPC سه‌تایی برای $a/\Lambda=0.4$ ، $b/\Lambda=0.5$ ، $l/\Lambda=0.1$ ، $\epsilon_1=4$ ، $\epsilon_3=15$ و $\theta_0=\pi/6$ با (a) $N=5$ (b) ، $N=15$ و (c) $N=70$ [۵۱] ۵۶
 شکل ۲۶-۲ بازتاب در 1D PPC دوتایی برای $t_1/\Lambda=0.5$ ، $t_2/\Lambda=0.5$ ، $\epsilon_2=19$ و $N=3$ با (a) $\theta_0=0$ (b) ، $\theta_0=\pi/4$ و (c) $\theta_0=\pi/3$ [۵۱] ۵۷

- شکل ۲-۲۷ بازتاب در 1D PPC سه‌تایی برای $P=0.1$ ، $a/\Lambda=0.4$ ، $b/\Lambda=0.5$ ، $l/\Lambda=0.1$ ، $\epsilon_1=4$ ، $\epsilon_3=15$ و $N=3$ با (a) $\theta_0=0$ ، (b) $\theta_0=\pi/4$ و (c) $\theta_0=\pi/3$ [۵۱]..... ۵۷
- شکل ۲-۲۸ نمودار بازتاب ساختار Plasma-Al₂O₃ برای زوایای مختلف فرودی؛ (a) حالت TE، (b) حالت TM [۵۷]..... ۵۸
- شکل ۲-۲۹ نمودار بازتاب ساختار Plasma-ZnS برای زوایای مختلف فرودی؛ (a) حالت TE، (b) حالت TM [۵۷]..... ۵۹
- شکل ۲-۳۰ نمودار بازتاب ساختار Plasma-Al₂O₃ در $\omega_p=5.6 \times 10^{-11}$ برای (الف) حالت TM و (ب) حالت TE؛ (a) $f=0.1$ ، (b) $f=0.5$ ، (c) $f=1.0$ [۵۷]..... ۶۰
- شکل ۲-۳۱ نمودار بازتاب ساختار Plasma-Al₂O₃ در $\omega_p=16 \times 5.6 \times 10^{-11}$ و $f=1.0$ ، برای (الف) حالت TM و (ب) حالت TE [۵۷]..... ۶۱
- شکل ۳-۱ ساختار بلور فوتونیک پلاسمایی، به صورت چهار لایه‌ی یک بعدی..... ۶۵
- شکل ۳-۲ نمودار بازتاب 1D PPC چهارتایی غیرمغناطیده برای مقادیر مختلف $N=5, 10, 25$ در $P_1=2$ ، $P_2=1$ ؛ $n_2=1.38$ ، $n_4=1.5$ ؛ $d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ؛ $\theta_0=0^\circ$ ؛ $B_0=0$ ۷۴
- شکل ۳-۳ نمودار بازتاب 1D PPC چهارتایی غیرمغناطیده برای مقادیر مختلف $P_1=2, 3$ ؛ $P_2=1, 2$ در $N=5$ ؛ $n_2=1.38$ ، $n_4=1.5$ ؛ $d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ؛ $\theta_0=0^\circ$ ؛ $B_0=0$ ۷۵
- شکل ۳-۴ نمودار لبه چپ و راست PBG برای مقادیر مختلف $P_1=2, 3$ ؛ $P_2=1, 2$ ۷۷
- شکل ۳-۵ نمودار بازتاب 1D PPC چهارتایی غیرمغناطیده برای مقادیر مختلف $\theta_0=0^\circ, 30^\circ, 66^\circ$ در 89° قطبش TE و $N=5$ ؛ $P_1=2$ ، $P_2=1$ ؛ $n_2=1.38$ ، $n_4=1.5$ ؛ $d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ؛ $B_0=0$ ۷۸
- شکل ۳-۶ نمودار لبه چپ و راست PBG برای قطبش TE با تغییر زاویه فرودی..... ۷۹
- شکل ۳-۷ نمودار بازتاب 1D PPC چهارتایی غیرمغناطیده برای مقادیر مختلف $\theta_0=0^\circ, 30^\circ, 66^\circ$ در 89° قطبش TM و $N=5$ ؛ $P_1=2$ ، $P_2=1$ ؛ $n_2=1.38$ ، $n_4=1.5$ ؛ $d_1=d_2=d_3=d_4=5\text{mm}$ ؛ $B_0=0$ ۸۰
- شکل ۳-۸ نمودار لبه چپ و راست PBG برای قطبش TM با تغییر زاویه فرودی..... ۸۱
- شکل ۳-۹ نمودار بازتاب 1D PPC چهارتایی مغناطیده برای مقادیر مختلف $B_0=0, 2, 5, 10, 20\text{ T}$ در میدان مغناطیسی فارادی راست‌گرد و $N=5$ ؛ $P_1=2$ ، $P_2=1$ ؛ $n_2=1.38$ ، $n_4=1.5$ ؛ $d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ۸۳
- شکل ۳-۱۰ نمودار لبه چپ و راست PBG برای میدان مغناطیسی فارادی راست‌گرد با تغییر میدان مغناطیسی خارجی $B_0=0, 2, 5, 10, 20\text{ T}$ ۸۵
- شکل ۳-۱۱ نمودار بازتاب 1D PPC چهارتایی مغناطیده برای مقادیر مختلف $B_0=0, 2, 5, 10, 20\text{ T}$ در میدان مغناطیسی فارادی چپ‌گرد و $N=5$ ؛ $P_1=2$ ، $P_2=1$ ؛ $n_2=1.38$ ، $n_4=1.5$ ؛ $d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ۸۶

شکل ۳-۱۲ نمودار لبه چپ و راست PBG برای میدان مغناطیسی فارادی چپ گرد با تغییر میدان مغناطیسی خارجی $B_0=0, 2, 5, 10, 20$ T ۸۸

شکل ۳-۱۳ نمودار بازتاب 1DPPC چهارتایی مغناطیده برای مقادیر مختلف $B_0=0, 2, 5, 10, 20$ T در میدان مغناطیسی ویجت و $N=5; P_1=2, P_2=1; n_2=1.38, n_4=1.5; d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ۸۹

شکل ۳-۱۴ نمودار لبه چپ و راست PBG برای میدان مغناطیسی ویجت با تغییر میدان مغناطیسی خارجی $B_0=0, 2, 5, 10, 20$ T ۹۱

شکل ۳-۱۵ نمودار پاشندگی 1D PPC چهارتایی غیرمغناطیده برای مقادیر مختلف $P_1=2, 3, 4$ در $P_2=1, 2, 3$ $N=5; n_2=1.38, n_4=1.5; d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}; \theta_0=0^\circ; B_0=0$ ۹۲

شکل ۳-۱۶ نمودار پاشندگی 1D PPC چهارتایی غیرمغناطیده برای مقادیر مختلف $\theta_0=15^\circ, 45^\circ, 66^\circ, 89^\circ$ در $N=5; P_1=2, P_2=1; n_2=1.38, n_4=1.5; d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}; B_0=0$ ، (الف) قطبش TE ، (ب) قطبش TM ۹۴

شکل ۳-۱۷ نمودار پاشندگی 1D PPC چهارتایی مغناطیده برای مقادیر مختلف $B_0=0, 5, 10, 50$ T در میدان مغناطیسی فارادی و $N=5; P_1=2, P_2=1; n_2=1.38, n_4=1.5; d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ۹۵

شکل ۳-۱۸ نمودار پاشندگی 1DPPC چهارتایی مغناطیده برای مقادیر مختلف $B_0=0, 5, 10, 50$ T در میدان مغناطیسی ویجت و $N=5; P_1=2, P_2=1; n_2=1.38, n_4=1.5; d_1=d_2=d_3=d_4=500\mu\text{m}$ ۹۶

صفحه

فهرست جداول

جدول ۱-۳	پهنا و لبه چپ و راست PBG برای مقادیر مختلف $P_1=2, 3$; $P_2=1, 2$	۷۶
جدول ۲-۳	پهنا و لبه چپ و راست PBG برای قطبش TE با تغییر زاویه فرودی.....	۷۹
جدول ۳-۳	پهنا و لبه چپ و راست PBG برای قطبش TM با تغییر زاویه فرودی.....	۸۱
جدول ۴-۳	پهنا و لبه چپ و راست PBG برای میدان مغناطیسی فارادی راست گرد با تغییر میدان مغناطیسی خارجی $B_0=0, 2, 5, 10, 20$ T.....	۸۴
جدول ۵-۳	پهنا و لبه چپ و راست PBG برای میدان مغناطیسی فارادی چپ گرد با تغییر میدان مغناطیسی خارجی $B_0=0, 2, 5, 10, 20$ T.....	۸۷
جدول ۶-۳	پهنا و لبه چپ و راست PBG برای میدان مغناطیسی ویجت با تغییر میدان مغناطیسی خارجی $B_0=0, 2, 5, 10, 20$ T.....	۹۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مفاهیم اولیه اپتیکی

نور همانند یک موج شامل میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی است. تغییرات این دو میدان در حوزه زمان و مکان به وسیله روابط ماکسول^۱ بیان می‌شود. یک حل ساده برای معادلات ماکسول در محیطی یکنواخت، موج تخت^۲ است که در آن میدان الکتریکی در یک لحظه مشخص از زمان و در یک جهت مشخص عمود بر صفحه به صورت سینوسی تغییر می‌کند. به عنوان مثال برای میدان‌های الکتریکی که در جهت x تغییر می‌کند داریم:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(kx - \omega t)} \quad (1-1)$$

که در آن $k \equiv 2\pi/\lambda$ دامنه بردار موج و یا عدد موج، $\omega \equiv 2\pi\vartheta$ فرکانس زاویه‌ای (رادیان بر ثانیه) و مقدار $\phi = (kx - \omega t)$ فاز موج است. برای یک جهت موج دلخواه، رابطه (۱-۱) می‌تواند به صورت زیر تعمیم داده شود:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} \quad (2-1)$$

در این حالت، صفحات با فاز ثابت، عمود بر بردار موج \vec{k} که تعیین کننده جهت انتشار موج است، خواهند بود. طول موج با بردار موج به صورت $k = |\vec{k}| = 2\pi/\lambda$ وابسته است.

موج رابطه (۱-۱) توسط صفحاتی با فاز ثابت در $x = \omega t/k$ که در آن دامنه بیشینه است، مشخص می‌شود. با گذشت زمان، این صفحات با دامنه ثابت در جهت $x +$ و با سرعت زیر که به عنوان سرعت فاز^۳ موج شناخته می‌شود، انتشار می‌یابند:

$$v_p = \frac{\omega}{k} = g\lambda \quad (3-1)$$

¹ Maxwell's equations

² Plane wave

³ Phase velocity

سرعت انتشار پالس به صورت سرعت گروه تعریف می‌شود:

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} \quad (۴-۱)$$

اگر ضریب شکست مستقل از فرکانس باشد، محیط بدون پاشندگی^۱ است و دو سرعت بیان شده با هم برابر خواهند بود، زیرا $\frac{d\omega}{dk} = \frac{\omega}{k}$ است. اما به طور معمول پاشیدگی وجود داشته (ضریب شکست با فرکانس تغییر می‌کند) و $v_g \neq v_p$ خواهد بود [۱].

۱-۱-۱- قانون اسنل^۲ [۱]

شکل ۱-۱ حرکت یک موج تخت تابشی به طرف مرز محیط ۱ با ضریب شکست n_1 را نشان می‌دهد. در این مرز بخشی از انرژی نور به محیط ۱ برگشت داده^۳ می‌شود. بقیه پرتو به محیط ۲ با ضریب شکست n_2 انتقال یافته و جهت انتشار آن تغییر می‌یابد که به این پدیده، شکست^۴ گفته می‌شود. جهت هر موج توسط زاویه بین بردار \vec{k} و خط عمود بر مرز (که با خط چین نشان داده شده است) تعیین می‌شود. قانون بازتاب بیان می‌کند که درست مانند آنچه در آینه داریم، زاویه بازتاب برابر زاویه تابش است. زاویه شکست θ_2 توسط قانون اسنل با زاویه تابشی θ_1 مرتبط می‌شود. پس می‌توان نوشت:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (۵-۱)$$

اگر محیط دوم دارای ضریب شکست بزرگ‌تری از محیط اول باشد ($n_2 > n_1$)، براساس قانون اسنل زاویه شکست کوچک‌تر از زاویه تابش است ($\theta_2 < \theta_1$). در چنین حالتی که در شکل ۱-۱ نیز نشان داده شده است، می‌گوییم که پرتو شکسته شده به طرف خط عمود نزدیک شده است. به طور مشابه اگر $n_2 < n_1$ باشد، $\theta_2 > \theta_1$ خواهد بود و پرتو از خط عمود دور خواهد شد. به طور معمول موادی با چگالی بیش‌تر دارای ضریب شکست بزرگ‌تری هستند. در نتیجه در عبور

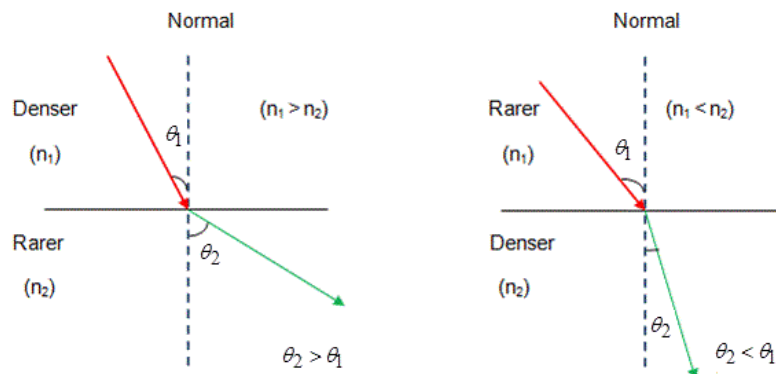
^۱ Dispersionless

^۲ Snell's law

^۳ Feedback

^۴ Refraction

از موادی با چگالی بیش‌تر، پرتو عبوری به طرف خط عمود، متمایل می‌شود و برعکس.



شکل ۱-۱ شکست پرتو در مرکز یک دی‌الکتریک [۱]

۱-۱-۲- معادلات فرنل^۱

قانون اسنل، جهت‌های مجاز برای هر پرتو بازتاب شده یا شکسته شده را برای ما بیان می‌کند، اما در خصوص کسری از پرتو تابشی که بازتاب می‌شود یا عبور می‌کند، توضیحی ارائه نمی‌دهد. این اطلاعات توسط معادله فرنل و توسط حل موج تخت در هر دو طرف مرز با شرایط مرزی مشخص استخراج می‌شود. به عنوان مثال لازم است با عبور از مرز، مؤلفه میدان الکتریکی موازی با سطح واسط، پیوسته باشد. تا زمانی که این مؤلفه به قطبش نور وابسته است، معادلات فرنل متفاوتی برای قطبش‌های مختلف حاصل می‌شود.

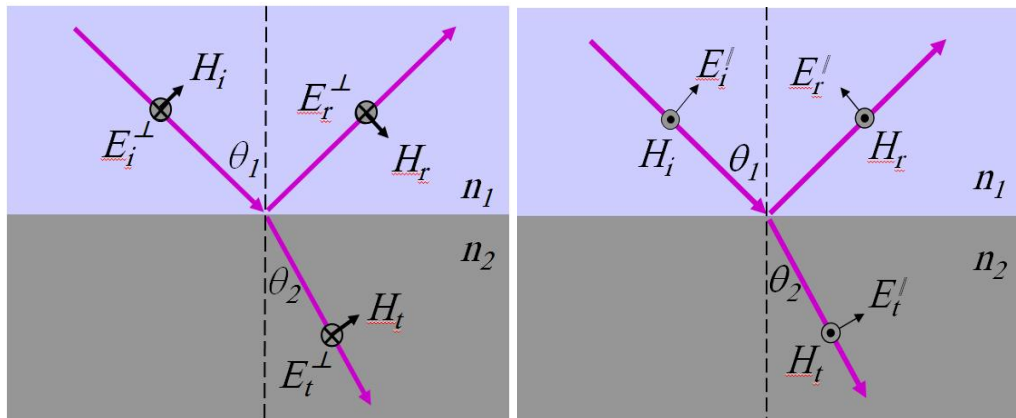
شکل ۱-۲ حالت کلی که برای توصیف امواج تخت بازتاب و شکسته شده در یک مرز سطحی به کار می‌رود، نشان می‌دهد. صفحه انتشار را به صورت صفحه‌ای شکل گرفته از باریکه‌های تابشی، بازتاب کننده و شکسته شده تعریف می‌کنیم (به دلیل تقارن، همگی باید در صفحه‌ای مشابه برای یک مرز یکسان باشند).

وقتی میدان الکتریکی موج تابشی در صفحه انتشار است، گفته می‌شود نور قطبیده شده p یا TM (میدان مغناطیسی عرضی^۲) است. علامت TM به این حقیقت اشاره دارد که میدان

^۱ Fresnel's equations

^۲ Transverse Magnetic: TM

مغناطیسی عمود یا متقاطع بر صفحه انتشار است. میدان الکتریکی نور قطبیده شده p به صورت E^{\parallel} نشان داده می‌شود. نور با میدان الکتریکی عمود بر صفحه انتشار، نور قطبیده شده s یا TE (میدان الکتریکی عرضی^۱) نامیده می‌شود. میدان الکتریکی نور قطبیده شده s به صورت E^{\perp} بیان می‌شود [۱].



شکل ۲-۱ نمادسازی قطبش برای بازتاب فرنل؛ سمت راست: قطبش TE، سمت چپ: قطبش TM [۱]

باتوجه به اینکه مؤلفه‌های مماسی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هنگام عبور از صفحه

مرزی پیوسته می‌باشند، لذا با توجه به شکل ۲-۱ داریم [۲]:

$$H_i + H_r = H_t \quad ; \text{ قطبیدگی TM}$$

$$k_i E_i - k_r E_r = k_t E_t \quad (۶-۱)$$

$$E_i \cos \theta_1 + E_r \cos \theta_1 = E_t \cos \theta_2$$

$$E_i + E_r = E_t \quad ; \text{ قطبیدگی TE}$$

$$-H_i \cos \theta_1 + H_r \cos \theta_1 = -H_t \cos \theta_2 \quad (۷-۱)$$

$$-k_i E_i \cos \theta_1 + k_r E_r \cos \theta_1 = -k_t E_t \cos \theta_2$$

معادلات فرنل را برای میدان‌های بازتاب شده و عبوری در قطبش p یا TM می‌توان به

صورت زیر نوشت:

^۱ Transverse Electric: TE

$$r_p = \left(\frac{E_r}{E_i} \right)_{||} = \frac{n_1 \cos \theta_2 - n_2 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_2 + n_2 \cos \theta_1} \quad (۸-۱)$$

$$t_p = \left(\frac{E_t}{E_i} \right)_{||} = \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_2 + n_2 \cos \theta_1} \quad (۹-۱)$$

و برای قطبش s یا TE می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$r_s = \left(\frac{E_r}{E_i} \right)_{\perp} = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (۱۰-۱)$$

$$t_s = \left(\frac{E_t}{E_i} \right)_{\perp} = \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (۱۱-۱)$$

برای تعیین بخشی از توان نور تابشی که توسط مرز بازتاب و یا انتقال داده می‌شود، از این حقیقت استفاده می‌کنیم که انرژی موج نوری با مربع دامنه میدان الکتریکی آن متناسب است ($I \propto E^2$). ضرایب عبور T و بازتاب R را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$R \equiv \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{E_r}{E_i} \right)^2 \quad (۱۲-۱)$$

$$T \equiv \frac{I_t}{I_i} = \frac{n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1} \left(\frac{E_t}{E_i} \right)^2 \quad (۱۳-۱)$$

با وجود این که کسر T از توان نور عبوری، همیشه کوچک‌تر از یک است، اما باید توجه داشت که E_t / E_i می‌تواند بزرگ‌تر از یک باشد. این امر به سادگی از روابط (۸-۱) تا (۱۳-۱) و $R + T = 1$ قابل استخراج بوده و با اصل بقای انرژی سازگار است [۱].

۱-۱-۳- زاویه بروستر^۱ [۱]

برای امواج TM حالت خاصی وجود دارد، این حالت زمانی پیش می‌آید که صورت کسر رابطه (۸-۱) به صفر نزدیک شود. تحت این شرایط هیچ پرتویی بازتاب نمی‌شود همه انرژی نور از

^۱ Brewster's angle