بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه – گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc)

گرایش : اتمی و مولکولی

عنوان :

فیلترهای چندکاناله با فاکتور کیفیت بالا

در بلورهای فوتونی حاوی شبه مواد

استاد راهنما :

دکتر صمد روشن انتظار

استاد مشاور :

دکتر عبدالرحمن نامدار

پژوهشگر :

الناز زمانی

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به:

مجموعه حاضر را که حاصل ماه ها تلاش و کوشش بنده است اما در برابر فداکاری ها، دلسوزی ها و مهربانی های تک تک اعضای خانواده ام، بویژه پدر و مادر فداکارم " احمد زمانی و منیره دیندار " و همسر عزیزم " علیرضا نظری " تحفه ای بیش نیست، خالصانه و از صمیم قلب تقدیمشان می کنم، تا شاید اینچنین بتوانم گوشه ای از زحمات ایشان را جبران کنم.

تشکر و قدردانی:

از همه ی زحمات و راهنمایی های مؤثر و راه گشای استاد محترم جناب آقای دکتر صمد روشن انتظار در تمامی مراحل تدوین و تنظیم این پایان نامه و نیز از زحمات جناب آقای دکتر عبدالرحمن نامدار مشاور محترم کمال تقدیر و تشکر را دارم.

بسمه تعالی

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب ال ناز زمانی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته فیزیک اتمی و مولکولی با شماره ی دانشجویی ۸۷۰۸۵۱۱٤۵۰۰ اعلام می نمایم که کلیه مطالب مندرج در این پایان نامه با عنوان: فیلترهای چند کاناله با فاکتور کیفیت بالا در بلورهای فوتونی حاوی شبه مواد، حاصل کار پژوهشی خود بوده و چنانچه دستاوردهای پژوهشی دیگران را مورد استفاده قرار داده باشم، طبق ضوابط و رویه های جاری، آنرا ارجاع داده و در فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده ام. علاوه بر آن تاکید می نماید که این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین تر یا بالاتر ارائه نشده و چنانچه در هر زمان خلاف آن ثابت شود، بدینوسیله متعهد می شوم، در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام توسط دانشگاه، بدون کوچکترین اعتراض آنرا بپذیرم.

نام و نام خانوادگی: ال ناز زمانی

تاریخ و امضاء:

بسمه تعالی

در تاریخ : ۹۱/۱۱/۱۵

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای/ خانم ال ناز زمانی از پایان نامه ی خود دفاع نموده و

با نمره ی ۱۸ بحروف هجده و با درجه ی

مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	ا
فصل اول: بررسی منابع و پیشینه ی پژوهش	۱
مقدمه	۲
۱ – ۱ بلورهای فوتونی	۳
۱ – ۱ – ۱ ابعاد و ساختار هندسی بلورهای فوتونی	٦
۱ – ۱ – ۲ مواد سازنده ی بلورهای فوتونی	۱۰
۱ – ۲ متامواد	۱۱
۱ – ۲ – ۱ ضریب شکست منفی	۱۳
۱ – ۲ – ۲ انواع ساختارهای متامواد	۱٦
۱ – ۲ – ۲ – ۱ مجموعه ای از سیم های فلزی نازک و $Re(\varepsilon)<0$	۱۷
۱ – ۲ – ۲ – ۲ مشددهای حلقه شکاف (SRRs) و $Re(\mu)<0$	۱۹
۱ – ۲ – ۲ – ۳ ساختارهای دو منفی	۲٦
۱ – ۳ انتشار امواج الکترومغناطیسی در ساختارهای متناوب	۲۷
۱ – ۳ – ۱ روش ماتریس انتقال	۲۸
۱ – ۳ – ۲ امواج بلوخ	۳٤

عنوان **صفحه**

۱ – ۳ – ۳ ساختارباند و محاسبه ی آن برای بلورهای فوتونی ۳۷

۱ – ٤ گاف باندهای فوتونیکی ٤٤

۱ – ٤ – ۱ گاف براگ ٤٦

۱ – ٤ – ۲ گاف ضریب شکست متوسط صفر $(zero-\bar{n})$ ٤۷

۱ – ٤ – ۳ گاف فاز مؤثر صفر $(zero-\phi_{eff})$ ٤۸

۱ – ٥ نقص و اثر آن بر بلورهای فوتونی ٤۹

۱ – ٦ استفاده از بلورهای فوتونی حاوی نقص به عنوان فیلترهای نوری ٥۲

۱ – ٦ – ۱ فاکتور کیفیت (Q) ٥۲

۱ – ٦ – ۲ بلورهای فوتونی حاوی لایه های متناوب مواد با ضریب شکست مثبت و لایه نقص مثبت یا منفی (ساختارهای DDL و MDL) ٥۳

۱ – ٦ – ۳ بلورهای فوتونی حاوی لایه های متناوب مواد با ضریب شکست منفی و لایه نقص با ضریب شکست مثبت ٦۱

۱ – ٦ – ٤ بلورهای فوتونی حاوی لایه های متناوب مواد با ضریب شکست منفی متفاوت و لایه نقص با ضریب شکست مثبت (ساختارهای نامتجانس) ۷٤

۱ – ٦ – ٥ بلورهای فوتونی حاوی لایه های متناوب مواد با ضریب شکست مثبت به صورت دسته های یک چهارم موج و لایه نقص دومنفی (فیلترهای با باند عبوری باریک) ۸۲

عنوان **صفحه**

۱ – ٦ – ٦ بلورهای فوتونی نامتجانس با ساختاری به شکل $(CD)^{۲}(EF)^{۲}$ که حاوی تعداد محدودی از لایه های متناوب مواد ε – منفی و هوا و نیز مواد μ – منفی و هوا می باشند ۹۷

۱ – ٦ – ۷ بلورهای فوتونی حاوی تعداد محدودی از لایه های متناوب مواد ε – منفی و هوا (مواد با ضریب شکست مثبت) بدون وجود نقص در ساختار ۱۰٦

۱ – ٦ – ۸ بلورهای فوتونی حاوی تعداد محدودی از لایه های متناوب مواد μ – منفی و ε – منفی بدون وجود نقص در ساختار ۱۱۵

فصل دوم: ساختار فیلترهای چند کاناله **۱۲۲**

مقدمه ۱۲۳

۲ – ۱ بررسی ساختارباند و گاف های ایجاد شده در طیف بلور فوتونی شامل لایه های متناوب ε – منفی و μ – منفی ۱۲٤

۲ – ۲ بررسی مدهای نقص ایجاد شده در گاف باندهای فوتونیکی بلور فوتونی شامل لایه های متناوب ε – منفی و μ – منفی ۱۳۳

۲ – ۳ روش کلی محاسبه ی دامنه ی عبور $t(\omega)$ برای بلور فوتونی یک بعدی ۱۳٦

۲ – ٤ بلور فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب ε – منفی (لایه های A) و مواد با ضریب شکست مثبت (لایه های B) با طرح $(AB)^{N}(BA)^{N}$ ۱٤۲

عنوان **صفحه**

۲ – ۵ بلور فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب مواد μ – منفی (لایه های A) و مواد با ضریب شکست مثبت (لایه های B) با طرح $(AB)^N(BA)^N$ ۱۴۵

۲ – ۶ بلور فوتونی شامل لایه های متناوب مواد تک منفی ε – منفی و μ – منفی ۱۴۶

۲ – ۷ بلور فوتونی شامل لایه های متناوب مواد تک منفی ε – منفی و μ – منفی به صورت زیرساختارهایی با اعداد پریود متفاوت و دو نوع لایه نقص از مواد با ضریب شکست مثبت ۱۴۹

۲ – ۸ بلور فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب مواد تک منفی ε – منفی و μ – منفی مختلف که از تکرار دو زیرساختار با اعداد پریود مساوی بوجود آمده ۱۵۰

فصل سوم: بررسی طیف عبوری فیلترهای چندکاناله ۱۵۳

مقدمه ۱۵۴

۳ – ۱ بررسی طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب ε – منفی (لایه های A) و مواد با ضریب شکست مثبت (لایه های B) با طرح $(AB)^N(BA)^N$ ۱۵۵

۳ – ۲ بررسی طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب مواد μ – منفی (لایه های A) و مواد با ضریب شکست مثبت (لایه های B) با طرح $(AB)^N(BA)^N$ ۱۶۷

۳ – ۳ بررسی طیف عبوری بلور فوتونی شامل لایه های متناوب مواد ε – منفی و μ – منفی ۱۷۸

۳ – ۴ بررسی طیف عبوری بلور فوتونی شامل لایه های متناوب مواد ε – منفی و μ – منفی به صورت زیرساختارهایی با اعداد پریود متفاوت حاوی دو نوع لایه نقص از مواد با ضریب شکست مثبت ۱۸۵

عنوان **صفحه**

۳ – ۵ بررسی طیف عبوری بلورهای فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب مواد ε – منفی و μ – منفی مختلف که از تکرار دو زیرساختار با اعداد پریود مساوی بوجود آمده اند ۱۹۳

نتیجه گیری کلی **۲۰۰**

پیشنهادات **۲۰۱**

فهرست منابع و مآخذ **۲۰۲**

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

(۱ – ۱) شکل بلورهای فوتونی که در طبیعت وجود دارند ۵

(۱ – ۲) شکل بلور فوتونی یک بعدی ۷

(۱ – ۳) شکل بلور فوتونی دو بعدی ۸

(۱ – ٤) شکل بلور فوتونی سه بعدی ۹

(۱ – ۵) شکل انتشار نور در محیط راستگرد و چپگرد ۱۵

(۱ – ٦) شکل مجموعه ای از سیمهای فلزی نازک (ساختار ε – منفی) ۱۸

(۱ – ۷) شکل مجموعه ای از سیمهای فلزی نازک در سه بعد ۱۹

(۱ – ۸) شکل مجموعه ای از استوانه های که در یک شبکه ی مربعی قرار گرفته اند ۲۰

(۱ – ۹) شکل دو پوسته ی استوانه ای شکافدار هم محور ۲۱

(۱ – ۱۰) شکل ساختار رولت مانند ۲٤

(۱ – ۱۱) شکل مشددهای حلقه شکاف (SRRs) (ساختار μ – منفی) ۲۵

(۱ – ۱۲) شکل مشددهای حلقه شکاف در سه بعد ۲٦

(۱ – ۱۳) شکل ساختارهای دو منفی ۲۷

(۱ – ۱٤) شکل بخشی از یک محیط لایه ای متناوب ۲۸

(۱ – ۱۵) شکل دامنه های موج تخت متحد شده با n امین لایه و لایه های مجاور آن ۳۰

(۱ – ۱٦) شکل ساختارباند برای امواج TE در صفحه ی $\omega - \beta$ ۳۸

(۱ – ۱۷) شکل ساختارباند برای امواج TM در صفحه ی $\omega - \beta$ ۳۸

عنوان **صفحه**

(۱ – ۱۸) شکل رابطه ی پاشندگی ω بر حسب K برای حالت $\beta = ۰$ (برای تابش عمودی) ۳۹

(۱ – ۱۹) شکل ساختار باند سه فیلم چند لایه ای متفاوت ٤٦

(۱ – ۲۰) شکل ایجاد گاف باند در نقطه ی فاز مؤثر صفر ٤۹

(۱ – ۲۱) شکل شماتیک ساختار یک بلور فوتونی حاوی یک لایه نقص ٥٤

(۱ – ۲۲) شکل طیف عبوری ساختار دارای لایه نقص معمولی و ساختار دارای لایه نقص با ضریب شکست منفی برای حالت n= ۱ و n= ۲ ٥٦

(۱ – ۲۳) شکل طیف عبوری ساختار دارای لایه نقص معمولی و ساختار دارای لایه نقص با ضریب شکست منفی برای حالت n > ۲ ٥۸

(۱ – ۲٤) شکل تاثیر مقادیر مختلف ضریب شکست لایه نقص روی پهنای مد ٥۹

(۱ – ۲٥) شکل طیف عبور ساختار دارای لایه نقص معمولی و ساختار دارای لایه نقص با ضریب شکست منفی بر حسب زاویه تابش ٦۰

(۱ – ۲٦) شکل شماتیکی از یک ساختار چند لایه ای μ – منفی و ε – منفی با یک نقص ٦۱

(۱ – ۲۷) شکل ویژه فرکانس یک مد نقص بصورت تابعی از اندازه نقص ٦٥

(۱ – ۲۸) شکل ویژه فرکانس یک مد نقص بصورت تابعی از ضخامت لایه ε – منفی ٦٥

(۱ – ۲۹) شکل ویژه فرکانس یک مد نقص بصورت تابعی از اندازه نقص و ضخامت لایه ε – منفی ٦٦

(۱ – ۳۰) شکل طیف عبوری ساختار $(AB)^{\wedge}C(BA)^{\wedge}$ تحت نسبت های مختلف d_A و d_B ٦۹

(۱ – ۳۱) شکل توزیع میدان الکتریکی مطابق با مدهای نقص در شکل (۱ – ۳۰) ۷۱

عنوان **صفحه**

(۱ – ۳۲) شکل تغییرات ماکزیمم دامنه ی میدان مربوط به لایه نقص بر حسب عکس طول ساختار $(\frac{۱}{L})$ ۷۳

(۱ – ۳۳) شکل شماتیکی از یک بلور فوتونی نامتجانس شامل دو بلور فوتونی یکبعدی متفاوت و یک لایه نقص ۷۵

(۱ – ۳٤) شکل طیف عبوری ساختارهای $(AB)^{۱۵}$؛ $(A'B')^{۱۵}$ و $(AB)^{۱۵}(A'B')^{۱۵}$، در تابش عمودی ۷۷

(۱ – ۳۵) شکل منحنی های پاشندگی برای بلورهای فوتونی $(AB)^{N}$ و $(A'B')^{N'}$ ۷۸

(۱ – ۳٦) شکل طیف عبوری بلورفوتونی نامتجانس $(AB)^{\wedge}C(A'B')^{\wedge}$ به ازای d_Cهای مختلف ۸۰

(۱ – ۳۷) شکل طیف عبوری بلورفوتونی نامتجانس $(AB)^{\wedge}C(A'B')^{\wedge}$ در زوایای تابش مختلف ۸۱

(۱ – ۳۸) شکل شماتیک ساختار فیلتر باند باریک چند لایه متقارن دارای یک لایه نقص ۸۳

(۱ – ۳۹) شکل محاسبه بازتاب بر حسب تابعی از $n_۳$، برای فیلتر باند باریک دارای لایه نقص ۸۷

(۱ – ٤۰) شکل محاسبه بازتاب بر حسب تابعی از $n_۳$، برای فیلتر باند باریک دارای لایه نقص، توجه کنید که در اینجا T به صورت درصد بیان شده است ۹۰

(۱ – ٤۱) شکل محاسبه ی بازتاب بر حسب طول موج، برای فیلتر باند باریک دارای لایه نقص ۹۲

(۱ – ٤۲) شکل بازتابندگی محاسبه شده به صورت تابعی از قسمت حقیقی ضریب شکست مختلط برای سه ضریب نابودی متفاوت ۹٤

(۱ – ٤۳) شکل بازتاب وابسته به طول موج برای $d_۳ = \frac{\lambda_0}{٤}$ و $n_۳ = -۲$، برای k های مختلف ۹٦

(۱ – ٤٤) شکل بستگی عبور به فرکانس و زاویه ی تابش برای دو ساختار $(CD)^{۲}$ و $(EF)^{۲}$ ۹۸

عنوان **صفحه**

(۱ – ٤٥) شکل عبوردهی بر حسب زاویه ی تابش و فرکانس امواج تابشی به ساختار نامتجانس برای مد TE و برای $\Gamma_e = \Gamma_m = ۰$ ۱۰۱

(۱ – ٤٦) شکل عبوردهی بر حسب زاویه ی تابش و فرکانس امواج تابشی به ساختار نامتجانس برای مد TE و برای $\Gamma_e = ۲\ \mathrm{GHz}$ و $\Gamma_m = ۱\ \mathrm{GHz}$ ۱۰۲

(۱ – ٤٧) شکل طیف عبوری بر حسب ضخامت لایه های D و F و فرکانس موج تابشی در تابش عمودی ۱۰٤

(۱ – ٤٨) شکل توزیع میدان داخل بلور فوتونی نامتجانس ۱۰٥

(۱ – ٤٩) شکل بازه‌ی مقادیر ω در ساختار $(\mathrm{AB})^{\mathrm{N}}$ به ازای مقادیر مختلف d_{A} و d_{B} که در شرط $|F(x)| \leq ۱$ صدق می کند ۱۰۸

(۱ – ٥۰) شکل بازه ی باند های عبوری برای مقادیر مختلف d_b و یک مقدار ثابت d_a ۱۰۹

(۱ – ٥۱) شکل مقادیر $F(\omega/\omega_0)$ با پارامترهای ساختاری متفاوت ۱۱۱

(۱ – ٥۲) شکل ضریب عبور $t(\omega)$ برای ضخامت های مختلف جفت لایه ها برای $\mathrm{N} = ۲۰$ ۱۱۲

(۱ – ٥۳) شکل توزیع میدان نسبی داخل ساختار با دو فرکانس $\omega = \omega_0$ و $\omega = ۰/۹۹\omega_0$ ۱۱۳

(۱ – ٥٤) شکل ضریب عبور $t(\omega)$ برای دو مقدار Γ ۱۱٤

(۱ – ٥٥) شکل بازه ی باند عبوری بلور فوتونی یک بعدی $(\mathrm{AB})^{\mathrm{N}}$ به ازای مقادیر مختلف d ۱۱۷

(۱ – ٥٦) شکل میزان عبور در بلور فوتونی یک بعدی $(\mathrm{AB})^{\mathrm{N}}$ برای $d = ۸۰۰nm$ و $d = ۱۰۰۰nm$ ۱۱۸

(۱ – ٥۷) شکل میزان عبور در بلور فوتونی یک‌بعدی $(\mathrm{AB})^{\mathrm{N}}$ برای $d = ۱۰۰۰nm$ و $\mathrm{N} = ۳$ و $\mathrm{N} = ٤$ ۱۲۰

عنوان **صفحه**

(۱ – ۵۸) شکل میزان عبور در بلور فوتونی یک‌بعدی $(AB)^N$ برای $d = ۱۰۰۰nm$ و $N = ۳$ در اتلاف $\Gamma = \frac{\omega_{mp}}{۲۰۰۰۰}$ و $\Gamma = \frac{\omega_{mp}}{۱۰۰۰۰}$ ۱۲۰

(۲ – ۱) شکل شماتیک یک بلور فوتونی شامل لایه های متناوب مواد ε – منفی و μ – منفی ۱۲۵

(۲ – ۲) شکل گاف‌های فوتونیکی برحسب تغییرات زاویه تابش برای ساختار متناوب نامحدود ۱۳۰

(۲ – ۳) شکل وابستگی گاف باندهای فوتونیکی به نسبت ضخامت های دو ماده به ازای ثابت های شبکه ی متفاوت ۱۳۳

(۲ – ٤) شکل موقعیت طیفی مدهای نقص داخل گاف باند های فوتونی برای بلور فوتونی یک بعدی محدود با ساختار $(AB)^{۸}C(BA)^{۸}$ ۱۳٤

(۲ – ۵) شکل وابستگی موقعیت طیفی مدهای نقص به زاویه‌تابش و به ازای قطبش‌های مختلف ۱۳۵

(۲ – ٦) شکل شماتیک ساختار چند لایه ای پریودیکی متشکل از لایه های متناوب A و B که در دو طرف آن هوا است ۱۳۷

(۲ – ۷) شکل شماتیک ساختار بلورفوتونی نامتجانس$(AB)^N(BA)^N$، با لایه های ε – منفی و $MgF_۲$ ۱٤۳

(۲ – ۸) شکل شماتیک ساختار بلورفوتونی نامتجانس$(AB)^N(BA)^N$، با لایه های μ – منفی و ($Rh:BaTiO_۳$) ۱٤۵

(۲ – ۹) شکل شماتیک یک ساختار نامتجانس متشکل از دو زیر ساختار از بلورهای فوتونی دارای لایه هایی متناوب از مواد تک منفی با تعداد تکرار مساوی ۱۵۰

(۲ – ۱۰) شکل طیف‌عبوری بلورهای فوتونی PC1 و PC2 و $(PC1PC2)$ در تابش عمودی ۱۵۱

عنوان **صفحه**

(۳ – ۱) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب مواد ε – منفی $(AB)^N(BA)^N$ به ازای مقادیر مختلف N ۱۵۶

(۳ – ۲) شکل طیف عبوری بلور فوتونی $(AB)^\circ(BA)^\circ$ به ازای ضخامت های مختلف لایه های ε – منفی ۱۵۹

(۳ – ۳) شکل تغییرات طول موج مرکزی کانال های اپتیکی به ازای ضخامت های مختلف لایه های ε – منفی ۱۶۰

(۳ – ٤) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نا متجانس $(AB)^\circ(BA)^\circ$ به ازای ضخامت های مختلف لایه های MgF_2 ۱۶۱

(۳ – ۵) شکل تغییرات طول موج مرکزی کانال های اپتیکی به ازای ضخامت های مختلف لایه های MgF_2 ۱۶۲

(۳ – ٦) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس $(AB)^\circ(BA)^\circ$ به ازای ضرایب شکست مختلف لایه های دی الکتریک ۱۶۳

(۳ – ۷) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس $(AB)^\circ(BA)^\circ$ به ازای زوایای تابش مختلف نور میله ای ۱۶۵

(۳ – ۸) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس $(AB)^\circ(BA)^\circ$ با وجود اتلافی برابر با مقدار نقره ۱۶۶

(۳ – ۹) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس شامل لایه های متناوب مواد μ – منفی $(AB)^N(BA)^N$ به ازای مقادیر مختلفN ۱۶۸

عنوان **صفحه**

(۳ – ۱۰) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس $(AB)^{۵}(BA)^{۵}$ به ازای ضخامت های مختلف لایه های $\mu-$ منفی ۱۷۰

(۳ – ۱۱) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس $(AB)^{۵}(BA)^{۵}$ به ازای ضخامت های مختلف لایه های $(Rh:BaTiO_{۳})$ ۱۷۱

(۳ – ۱۲) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس $(AB)^{۵}(BA)^{۵}$ به ازای مقادیر مختلف شدت پمپ ۱۷۲

(۳ – ۱۳) شکل میزان شیفت کانال های اپتیکی در رنج نزدیک فروسرخ به ازای مقادیر مختلف شدت پمپ ۱۷۳

(۳ – ۱٤) شکل طیف عبوری بلور فوتونی نامتجانس $(AB)^{۵}(BA)^{۵}$ به ازای مقادیر مختلف زاویه تابش ۱۷۵

(۳ – ۱۵) شکل طیف عبوری بلورفوتونی نامتجانس $(AB)^{۵}(BA)^{۵}$ به ازای مقادیر مختلف Γ ۱۷۷

(۳ – ۱٦) شکل طیف عبوری ساختار پریودیکی $(AB)^{N}$ به ازای N های مختلف ۱۷۹

(۳ – ۱۷) شکل طیف عبوری ساختار پریودیکی $(AB)^{٤}$ به ازای ضخامت های مختلف لایه ی B ۱۸۱

(۳ – ۱۸) شکل تغییرات فرکانس گاف باندها و مدهای تشدید ساختار پریودیکی $(AB)^{٤}$ به ازای مقادیر مختلف d_B ۱۸۳

(۳ – ۱۹) شکل تغییرات فرکانس گاف باندها و مدهای تشدید ساختار پریودیکی $(AB)^{٤}$ به ازای زوایای تابش مختلف ۱۸٤

عنوان **صفحه**

(۳ – ۲۰) شکل طیف عبوری ساختار $\left[(AB)^{5}D_{1}(BA)^{4}D_{1}(BA)^{5}D_{2}(AB)^{6}D_{2}\right]^{2}$ تحت تابش عمودی ۱۸۶

(۳ – ۲۱) شکل تغییرات فرکانس گاف باندها و مدهای تشدید ساختار $\left[(AB)^{5}D_{1}(BA)^{4}D_{1}(BA)^{5}D_{2}(AB)^{6}D_{2}\right]^{2}$ برای قطبش و زوایای تابش مختلف ۱۸۷

(۳ – ۲۲) شکل تغییرات فرکانس گاف باندها و مدهای تشدید ساختار $\left[(AB)^{8}D_{1}(BA)^{6}D_{1}(BA)^{8}D_{2}(AB)^{4}D_{2}\right]^{2}$ برای ضخامت های مختلف لایه های نقص ۱۸۹

(۳ – ۲۳) شکل تغییرات فرکانس گاف باندها و مدهای تشدید ساختار $\left[(AB)^{8}D_{1}(BA)^{6}D_{1}(BA)^{8}D_{2}(AB)^{4}D_{2}\right]^{2}$ برای اعداد پریود مختلف ۱۹۰

(۳ – ۲٤) شکل توزیع میدان الکتریکی مطابق با مدهای تشدیدی مختلف α_1 ، α_2 ، β_1 و β_2 ۱۹۲

(۳ – ۲۵) شکل طیف عبوری ساختار نامتجانس $(PC1PC2)^{N}$ در تابش عمودی به ازای مقادیر مختلف N ۱۹۵

(۳ – ۲٦) شکل طیف عبوری ساختار نامتجانس $(PC1PC2)$ به ازای فرکانس های برخورد (Γ) مختلف ۱۹٦

(۳ – ۲۷) شکل طیف عبوری ساختار نامتجانس $(PC1PC2)^{2}$ به ازای فرکانس های برخورد (Γ) مختلف ۱۹۷

(۳ – ۲۸) شکل طیف عبوری ساختار نامتجانس $(PC1PC2)^{3}$ به ازای فرکانس های برخورد (Γ) مختلف ۱۹۷

عنوان **صفحه**

(۳ – ۲۹) شکل فاکتور کیفیت فیلتر چند کاناله برای ساختار نامتجانس $(PC1PC2)^N$ به ازای M های مختلف ۱۹۸

(۳ – ۳۰) شکل فاکتور کیفیت فیلتر چند کاناله برای ساختار نامتجانس $(PC1PC2)^۲$ به ازای فاکتور میرایی مختلف ۱۹۹