بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزي

دانشکده علوم پایه،گروه فیزیك

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

رشته فیزیك گرایش اتمي مولکولي

عنوان:

مطالعه و بهینه سازی آستانه تخریب لیزری برای آینه های بازتاب بالا برای طول موج 1064 nm

استاد راهنما :

دکتر پیروز هویدا مرعشی

استاد مشاور:

دکتر محمد هادی ملکی

پژوهشگر:

علی مشایخی اصل

زمستان 1390

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Science – Department of Physics

"M.Sc" Thesis

On Atomic – molecular

Subject :

Study, description and optimalization of Laser Damage Threshold in optical elements

Advisor :

Seyed Pirooz Marashi

Consulting – Advisor :

Mohammad Hadi Maleki

By :

Ali Mashayekhi Asl

Winter 2012

بسمه تعالي

تعهدنامه اصالت پايان نامه كارشناسي ارشد

اينجانب علی مشايخی اصل دانشجوي كارشناسي ارشد رشته فيزيك اتمي گرايش اتمي مولكولي با شماره دانشجويي 88065113300 اعلام مي نمايم كه كليه مطالب مندرج در اين پايان نامه با عنوان:

"مطالعه و بهينه سازی آستانه تخريب ليزری برای آينه های بازتاب بالا برای طول موج NM 1064"

حاصل كار پژوهشي خود بوده وچنانچه دستاوردهاي پژوهشي ديگران را مورد استفاده قرار داشته باشم، طبق ضوابط و رويه هاي جاري ، آن را ارجاع داده و در فهرست منابع ذكر نموده ام. علاوه بر آن تأكيد مي نمايد كه اين پايان نامه قبلا براي احراز هيچ مدرك هم سطح ، پايين تر يا بالاتر ارائه نشده و چنانچه در هر زمان خلاف آن ثابت شود ، بدينوسيله متعد مي شوم ، در صورت ابطال مدرك تحصيلي ام توسط دانشگاه ، بدون كوچك ترين اعتراض آن را بپذيرم.

تاريخ و امضاء

بسمه تعالي

در تاريخ :
دانشجوي كارشناسي ارشد آقاي علی مشایخی اصل از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره " **20** " بحروف " **بیست**" و با درجه " **عالی**" مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما :

بسمه تعالي
دانشكده علوم پايه گروه فيزيك
****
(اين چكيده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهيه شده است)

نام واحد دانشگاهي : تهران مركزي كد واحد : 101	**كد شناسايي پايان نامه : 10130210891004**

عنوان پايان نامه :

مطالعه و بهينه سازی آستانه تخريب ليزری برای آينه های بازتاب بالا برای طول موج 1064 nm

نام ونام خانوادگي : علی مشايخی اصل شماره دانشجويي: 88065113300 رشته تحصيلي : فيزيك اتمي وملكولي	تاريخ شروع پايان نامه :89/7/28 تاريخ اتمام پايان نامه: 1390/12/8

استاد راهنما : دكتر پيروز هويدا مرعشی
استاد مشاور : دكتر محمد هادی ملكی
ادرس و شماره تلفن : اصفهان- ميدان جمهوری – خ رباط اول –ابتدای كوی گل رز- 09197027087-09190385868

هدف اصلی در اين پروژه مطالعه كليه پارامترهای تاثيرگذار در آستانه تخريب ليزری قطعات اپتيكی آنهاست كه به موجب آن بتوان پايداری اين قطعات را در مقابل توانهای بالای ليزری افزايش داد

در اين تحقيق، پس از مطالعه اوليه در مورد مفاهيم خلأ، پمپ های خلأ، محفظه خلا و فشارسنج ها، پارامترهای مختلف رشد لايه مورد بررسي قرار گرفته است. همچنين روش های مختلف آناليز سطح مانند اسپكتروفتومتر و ميكروسكوپ روبشي كه براي آناليز نمونه ها مورد استفاده قرار گرفته اند، نيز مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه، پس از مطالعه طراحي و ساخت فيلترهاي اپتيكي، بهينه سازي آستانه تخريب ليزری براي فيلتر اپتيكي در طول موج 1064 كه موضوع اصلي پروژه مي باشد، مورد بررسي قرار گرفته است. بدين جهت، علاوه بر بررسي پارامترهای تاثير گذارمختلفی مانند دما، مقدار فشار محفظه خلأ وآلودگی زيرلايه، طراحي خاصي را مورد مطالعه قرار داديم.كه تأثير توزيع ميدان الكتريكی را كه مهمترين عامل در كاهش آستانه تخريب ليزری می باشد را به حداقل برسانيم. براي ساخت فيلتر اپتيكي از روش تبخير باريكه الكترونی در خلا استفاده كرده ايم. لايه نشانی بوسيله دستگاه Leybold A700 انجام گرفته است. همچنين از نرم افزار شبيه ساز Macleod جهت شبيه سازی لايه های نازك مورد نظر استفاده می شود. طيف اپتيكي فيلتر توسط سيستم اسپكتروفتومتر Carry 6000i اندازه گيري گرديد. برای ريخت شناسی سطح لايه ها نيز از ميكروسكوپ نوري و ميكروسكوپ پروبي روبشي AFM استفاده گرديد. همچنين براي بررسی آستانه تخريب نمونه ها از چيدمان طراحي شده با ليزر ND:YAG بهره برديم.

نظر استاد راهنما براي چاپ در پژوهش نامه دانشگاه: مناسب است / مناسب نيست تاريخ و امضاء:

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه..... 1

فصل اول : آشنایی با خلأ و وسایل ایجاد خلأ 2

1-1 مقدمه..... 3

1-2 تئوري جنبشي گاز ها..... 5

1-3 رژیم های جریان..... 5

1-4 سیستم خلأ 8

1-4-1 محفظه خلأ 10

1-4-2 پمپ ها ي خلأ 11

1-4-2-1 انواع پمپ هاي تراكمي..... 12

1-4-2-1-1 پمپ مكانيكي چرخشي ون 14

1-4-2-1-2- پمپ هاي روتاری ون دو مرحله اي 15

1-4-2-1-3 پمپ هاي روتس/ بوستر 18

1-4-2-1-4 پمپ ديفوژن 20

1-4-2-1-5 پمپ توربومولكولار 23

1-4-2-2 راندمان پمپ ها..... 25

1-4-3 فشارسنج ها 27

1-4-3-1- فشار سنج پيراني..... 28

1-4-3-2 فشارسنج يوني 30

فصل دوم : ساختارلايه 36

2- 1هسته بندي و رشد لايه 37

2-2 عوامل موثر در رشد لايه.....38

3-2 مدهاي انباشت 38

4-2 خواص مكانيكي لايه هاي نازک 45

1-4-2 تنش 45

2-4-2 زبري سطح 46

1-2-4-2 پارامترRa 47

2-2-4-2پارامتر Rq 48

3-2-4-2 پارامترRz 48

4-2-4-2 پارامترSv 49

2-4-2- 5 پارامترSp 49

2-4-2- 6 پارامترSds 49

2-4-2- 7 فاكتور زبري 49

3-4-2 سختي 50

4-4-2 چسبندگي 51

5-2 خواص مورد نياز براي يك زير لايه مناسب 52

6-2 يكنواختي لايه و ضخامت سنجي آن 52

7-2 اندازه گيري ضخامت و يكنواختي لايه 55

2-7- 1 يكنواختي 56

2- 7- 1- 1 صفحه تخت 56

2- 7- 1- 2 سطح كروي 57
2- 7- 1-3 زيرلايه هاي چرخان..... 58
2- 7- 1- 4 آماده سازي زيرلايه 58
2- 7- 1- 5 اندازه گيري ضخامت 59
2- 7- 1- 6 تكنيک هاي اندازه گيري اپتيكي 60
2- 7- 1- 7 مانيتور كريستال كوارتز..... 63
2-8 تميز كاري 66
2-8-1 فرآيندهای تميزكاری 66
2-8-2 تميزكاری با صابون 67
2-8-3 تميزكاری با حلال 67
2-8-4 تميزكاری با HCl 68
2-8-5 تميزكاری اسيد نيتريک 68
2-8-6 Aqua Regia 69
2-8-7 نكات ايمنی 70

فصل سوم : روش های لايه نشانی 71
3-1 مقدمه 72
3-2 فرآيندهای لايه نشانی 74
3-2-1 تاريخچه لايه نشانی های PVD 76
3-2-2 تكنيک های PVD 76
3-2-3 كندوپاش 77

1-3-2-3 کندوپاش چیست؟ 77
2-3-2-3 کندوپاش با مگنترون 78
3-3-2-3 مگنترون چیست ؟ 79
4-3-2-3 مگنترون مسطح 79
5-3-2-3 مگنترون غیر تعادلی 80
7-3-2-3 کندوپاش با مگنترون میدان بسته 81
8-3-2-3 کندوپاش RF 81
4-2-3 تبخیر حرارتی 82
5-2-3 انباشت به روش تبخیر فیزیکی با باریکه الکترونی (EB – PVD) 82
1-5-2-3 کاربردهای EB – PVD 85
6-2-3 انباشت به کمک باریکه یون 86
1-6-2-3روکش کاری یونی 86
2-6-2-3 روکش کاری یونی- جرقه ای (Arc-ion plating) 87
3-6-2-3روش های باریکه یونی 87
4-6-2-3 ویژگیهای خاص IAD 91
5-6-2-3 ریخت و چگالی 93
6-6-2-3 کنترل تغییرات فازی و میکروساختار 94
7-6-2-3 کاربردهای IAD 95

فصل چهارم : فیلترهای لایه نازک 99
1-4 فیلترهای لایه نازک 100

2-4 تئوری بنیادی 107
1-2-4 معادلات ماکسول و امواج الکترومغناطیس 107
3-4 مرز ساده 110
1-3-4 فرود نرمال 111
2-3-4 فرود مایل 114
1-2-3-4 نور قطبیده p 115
2-2-3-4 نور قطبیده S 117
3-3-4 هدایت ظاهری یا آدمیتانس اپتیکی برای فرود مایل 118
4-4 بازتاب ازیک لایه نازک 119
5-4 بازتاب از یک مجموعه لایه های نازک 122
6-4 ضریب بازتاب ، ضریب عبور و ضریب جذب 124
7-4 ضریب عبور بالقوه 126
8-4 ضخامت های اپتیکی ربع موج ونیم موج 128
9-4 میدان الکتریکی و اتلاف ها در دیاگرام آدمیتانس (رسانایی ظاهری) 129
10-4 لایه نشانی ضدبازتاب 134
1-10-4 لایه نشانی ضد بازتاب تک لایه 135
2-10-4 لایه نشانی های چند لایه ای 136
11-4 لایه نشانی های ضد بازتاب برای ناحیه مرئی و مادون قرمز 138
12-4 لایه نشانی بازتاب زیاد چند لایه ای 141
13-4 لایه نشانی های دی الکتریک چند لایه ای 142
1-13-4 چندلایه ای های تمام دی الکتریک با منطقه های بازتابش وسیع 149

4-13-2 ضرورت یکنواختی لایه نشانی 150
4-14 اتلاف ها 152

فصل پنجم : آنالیز سطح 155

5-1 انواع میکروسکوپ ها 156
5-1-1 میکروسکوپ های اپتیکی..... 156
5-1-2 میکروسکوپ های الکترونی..... 156
5-1-3 میکروسکوپ هاب با اسکن پروبی روبشی..... 156
5-2 میکروسکوپ های پروبی روبشی 159
5-2-1 میکروسکوپ اسکن تونلی(STM) 159
5-2-2 میکروسکوپ های نیروی اتمی (AFM) 163
5-2-2-1 کانتی لیور و خواص آن 164
5-3 میکروسکوپ های الکترونی روبشی(SEM) 167
5-3-1 الکترون های پس پراکنده 170
5-3-2 الکترون های ثانویه 171

فصل ششم : آستانه تخریب لیزری ، مفهوم آن، روش های افزایش آن 175
6-1 آستانه تخریب لیزری 176
6-2 جذب در ادمیتانس دیاگرام 176
6-3 فصل مشترک ها 176

فصل هفتم : نتایج تجربی لایه نشانی های مختلف لایه های Tio_2 و Sio_2 187
7-1 مقدمه 188
7-2 کالیبره کردن Sio_2 , Tio_2 189
7-3 لایه نشانی 3لایه TiO_2 و SiO_2 در دو شرایط مختلف 192
7-3 -1 لایه نشانی مرتبه اول برای 3 لایه TiO_2 و SiO_2 192
6-3-2 لایه نشانی مرتبه دوم برای 3 لایه TiO_2 وSiO_2 193
7-4 لایه نشانی 5لایه TiO_2 و SiO_2 195
7-5لایه نشانی 5لایه TiO_2 وSiO_2 198
7-6 لایه نشانی 11لایه TiO_2 و SiO_2 199

7-7 لایه نشانی 13 لایه Tio_2 و Sio_2 200

فصل هشتم : نتایج تجربی 205
8-1 مقدمه.....206
8-2 بررسی اثر دمای بازپخت روی خواص اپتیکي، زبري وآستانه تخریب لیزری

لایه هايTiO_2 206

8-3 مطالعه و بررسی افزایش آستانه تخریب لیزري آینه هاي بازتاب بالا 212

8 –4 محاسبات تجربی برای افزایش آستانه تخریب لیزری لایه های TiO_2 و SiO_2 ... 218

مراجع 222
چکیده انگلیسی 227

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول (1-1) تقسیم بندی نواحی خلأ 3

جدول(1-2) مقايسه پمپ هاي خلأ روغني و خشک 13

جدول (1-3) شکل دیگری از تقسیم بندی فشارسنج ها 28

جدول (3-1) : گروه بندی مواد مورد استفاده در فرآیند های انباشت 73

جدول (5-1) : انواع میکروسکوپ های پروبی روبشی 158

جدول (5-2) : برخی کاربردهای میکروسکوپ های AFM و SEM 174

جدول(7-1) : کالیبره کردن Tio2 190

جدول(7-2) : کالیبره کردن SiO2 191

جدول(7-3) شرایط انباشت 1 برای لایه نشانی 3 لایه TiO_2 و SiO_2 192

جدول(7- 4) شرایط انباشت 2 برای لایه نشانی 3 لایه TiO_2 و SiO_2 193

جدول(7 - 5) : شرایط انباشت برای لایه نشانی 5 لایه TiO_2 و SiO_2 195

جدول(7 - 6) : شرایط انباشت برای لایه نشانی 7 لایه TiO_2 و SiO_2 196

جدول(7 - 7) : شرایط انباشت برای لایه نشانی 11 لایه TiO_2 و SiO_2 197

جدول(7 - 8) : شرایط انباشت برای لایه نشانی 13 لایه TiO_2 و SiO_2 198

جدول(8-1) : شرايط لايه نشاني لايه TiO_2 208

جدول(8-2) : آستانه تخريب ليزري براي نمونه هاي بازپختي 208

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار (1-1) عملکرد پمپ روتاري ون دو مرحله ای 16

نمودار (1-2) نمودار عملکرد پمپ چرخشي ون تک مرحله اي و دو مرحله ای..... 18

نمودار (1-3) نمودار فعالیت یک پمپ روتس / بوستر (فشار بر حسب سرعت)..... 19

نمودار (1-4) منحنی عملکرد پمپ دیفوژن..... 22

نمودار(1-5) منحنی عملکرد پمپ توربومولکولار..... 25

نمودار (2 - 1) تأثیر پارامترهای مختلف انباشت روی اندازه دانه بندی لایه های نازک.. 42

نمودار (2- 2) رابطه انرژي جنبشي ذرات فرودي روي زيرلايه با اندازه دانه بندي 43

نمودار(2- 3) : تغییرات کیفی (a)فاکتور زبری و (b) چگالی لایه به عنوان تابعی از ضخامت ... .50

نمودار (3- 1): رابطه میان دمای زیر لایه و سختی 95

نمودار(4-1): طیف فیلترضد بازتاب 103

نمودار (4-2) طیف آینه های فلزي معروف..... 103

نمودار (4-3) فیلتر بازتاب بالا باند پهن..... 104

نمودار (4-4) فیلتر بازتاب باند نازك..... 104

نمودار (4-5) فیلتر بلندگذر 105

نمودار (4-6) فیلترکوتاه گذر 105

نمودار (4-7) طیف بازتاب بر حسب طول موج برای آینه های لیزری و فیلترها، در لایه نشانی های AR 106

نمودار (6 – 1) توزیع میدان الکتریکی نمونه در یک بسته ربع موجی 177

نمودار (6 – 2) نمودار ادمیتانس دو لایه انتهایی در بسته های ربع موجی 181
نمودار (6– 3) افزایش جفت مشخصی از لایه ها به سطح جلویی بازتابنده 182
نمودار(6–4)تغییر توزیع با تغییر طول موج..... 183
نمودار(6 – 5) :شکل کلی تغییرات توزیع و بزرگی میدان الکتریکی طول موج ها در عبورماکزیمم.....183
نمودار (6 – 6) یک ناحیه ی لایه نشانی شده بازتاب بالای وسیع..... 184
نمودار (6 – 7) توزیع میدان در طول موج nm 584 در ناحیه بازتاب کننده وسیع.
شکل 8-7..... 185
نمودار (7-1) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای TiO_2 تک لایه.... 190
نمودار (7-2) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای SiO2 تک لایه 191
نمودار (7-3) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای انباشت یک 3 لایه ...193
نمودار (7 - 4) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای انباشت دو 3 لایه . 194
نمودار (7 – 5) طیف تئوری رسم شده توسط نرم افزار مک لئود برای انباشت 5 لایه 195
نمودار (7 – 6) طیف تئوری رسم شده توسط نرم افزار مک لئود برای انباشت 5 لایه 196
نمودار (7 - 7) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای انباشت 5 لایه..... 197
نمودار (7 - 8) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای انباشت 7 لایه... 198
نمودار (7 – 9) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای انباشت 11 لایه ... 199
نمودار (7 - 10) طیف تئوری رسم شده برای انباشت 11 لایه..... 200
نمودار (7 – 11) طیف به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر برای انباشت 13 لایه... 202
نمودار (7 – 12) طیف مربوط به بازتاب برای 11 لایه TiO_2وSiO_2، با زاویه صفر.. 203
نمودار (7 – 13) طیف مربوط به عبور برای 11 لایه TiO_2وSiO_2، با زاویه 45^0... 204
نمودار (8-1) طیف عبوري نمونه های بازپختی TiO_2 209
نمودار (8- 2) نمودار میدان الکتریکی برای 7 لایه MgF2 و ZnS با ضخامت یک چهارم موج و 9 لایه که در آن دو لایه بالایی دارای ضخامت غیر ربع موج است..... **214**
نمودار (8 – 3) انتقال میدان ماکزیمم از فصل مشترک به درون لایه ها..... 220

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل(1-1) محدوده اندازه گيري براي فشارسنج هاي مختلف 4

شکل (1-2) تقسيم بندي رژيم هاي مولکولي 6

شکل (1-3) سطح يك لايه در فشار مختلف خلأ، الف) فشار اتمسفر ب) فشار خلأ بالا.....7

شکل(1-4) حرکت اتم هاي برخاسته از چشمه در خلأ هاي بالاتر به سمت زيرلايه 7

شکل(1-5) شکل شماتیک یک سیستم خلأ و بخش هاي مختلف آن..... 9

شکل(1-6) تصویری از یک سیستم خلأ باقسمتهای مختلف آن 9

شکل(1-7) ترتيب پايداري اشکال مختلف محفظه هاي خلأ.....10

شکل(1-8) تقسیم بندی کلی انواع پمپ های خلأ 12

شکل (1-9) عملکرد پمپ روتاري ون يکي در 8 مرحله.....14

شکل (1-10) عملکرد پمپ روتاري ون و قسمت هاي مختلف پمپ روتاری ون.....15

شکل(1-11) طرز کار یک پمپ دو مرحله ای 15

شکل(1- 12) دو پمپ روتاري ون تک مرحله اي متصل به يک پمپ توربومولکولار.....17

شکل(1-13) نمايشي از مقطع عرضي پمپ دومرحله اي 17

شکل(1-14) نمونه ای از پمپ بوستر، مراحل انجام مکانیسم روتس 19

شکل (1-15) نمونه ای از پمپ دیفوژن مورد استفاده در آزمایشگاه لایه نشانی مرکز علوم و فنون لیزر.....21

شکل(1-16) قسمت های پمپ دیفوژن و طرز کار آن 22

شکل (1-17) نحوه عملکرد پره های روتور و استاتور در یک پمپ توربو مولکولار 24

شکل (1-18) شکل پره هاي يک پمپ توربو مولکولارو چگونگي حرکت پره ها 24

شکل(1-19) تقسیم بندی کلی فشار سنج ها.....27

شکل(1-20): فشارسنج پيراني... 29

شکل(1-21) نمایی از یک فشارسنج یونی بدون پوشش 31

شکل(1-22) شکل شماتیک گیج کاتد 32

شکل (1-23) نمونه ای از یک پمپ یونی.....32

شکل(1-24) شماتیکی از فشارسنج یونی پنینگ PIG 33

شکل(1-25) نمونه ای از یک فشارسنج یونی گرم.....34

شکل(1-26) شماتیک گیج کاتد گرم 34

شکل(2-1) تصويري 3 بعدي از مدهاي رشد، مکانيزم هاي هسته بندي و مراحل شکل گيري لايه.....40

شکل (2-2) تصویری دو بعدی از مدهای رشد لایه (سمت چپ) مطابق با تعریف مدها، (سمت راست) برای چند ماده مختلف.....
40

شکل(2-3) تفاوت دانه بندي ها براي يک لايه نازک Tio2 با ضخامت600 نانومتر در دماهاي 300°C، 400°C و 600°C 41

شکل (2-4) نتايج رشد جزيره ها را براي InAs/GaAs در دماهاي مختلف 42

شکل (2-5) تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از فیلم های Au با ضخامت Å 100،

که در خلأ و در دماهای ^0c 100 و ^0c 200 و^0c 300 بازپخت شده اند.....43

شکل (2- 6) تأثیر ضخامت بر روی دانه بندی.....45

شکل (2-7) انواع تنش.....45

شکل (2-8) مراحل زنجیر وار رشد لایه..... ...46

شکل (2-9) تأثیر مقدار پوشش بر رشد لایه.....46

شکل(2-10) مفهوم پارامتر Ra 48

شکل(2-11) مربع پروفایل کمیت Rq و پروفایل کمیت Rq 48
شکل (2-12) مفهوم پارامتر Sds ، نقطه1 نشان دهنده وجود پیک و نقطه 2 نشان دهنده عدم وجود پیک مي باشد..... 49
شکل(2- 13) نماي واقعي از یک نگهدارنده گنبدي شکل..... 54
شکل (2-14) نماي واقعي ازیک نگهدارنده سیاره اي..... 55
شکل(2- 15) محل و چگونگی قرار گیری صفحه تخت بر روی چشمه در محفظه خلأ.. 57
شکل(2- 16) محل و چگونگی قرار گیری صفحه تخت بر روی چشمه در محفظه خلأ. 58
شکل (2 – 17) روش فوتوالکتریک برای اندازه گیری ضخامت..... 62
شکل (3-1) شماتیکی از تقشیم بندی روش های انباشت لایه..... 72
شکل (3- 2) راکتور استاندارد CVD 75
شکل (3-3): شمای کلی از فرآیند PVD 77
شکل(3-4) طرحی شماتیک از فرآیند کندوپاش با مگنترون . نمای نزدیکی از کاتد مگنترون..... 78
شکل (3-5) شماتیک از یک مگنترون..... 79
شکل (3-6) شماتیک از یک مگنترون غیرتعادلی..... 80
شکل(3-7) چیدمان یک میدان مغناطیسی بسته 81
شکل(3-8) طرحی شماتیک از فرآیند تبخیر حرارتی..... 82
شکل (3-9) طرحی شماتیک از EB-PVD..... 83
شکل (3-10) مسیر حرکت الکترون ها به سمت بوته در EB-PV 83
شکل (3-11) نحوه ی انباشت به روش فرآیندEB – PVD 85
شکل (3-12) یک سیستم پرتو یونی دوتایی..... 88
شکل(3-13) روش اول انباشت یونی..... 89

شکل (3-14) روش دوم انباشت یونی..... 90
شکل (3-15) نقش یون ها در شکل گیری لایه نازک به صورت مرحله به مرحله.....90
شکل(3- 16) طرحی شماتیک از مراحل CMSII 97
شکل(4-1) رفتار موج الکترومغناطیسی در برخورد نرمال به سطح..... 112
شکل (4- 2) امواج TM ، قطبیده P 115
شکل (4-3) امواج TE ، قطبیده S 115
شکل(4- 4) برخورد جبهه موج تخت فرودی به لایه نازک..... 120
شکل(4- 5) مجموعه ای از لایه های نازک و همچنین ضریب بالقوه برای آن ها.....127
شکل (5-1) شمای کلی از آنالیز سطح توسط میکروسکوپ های SPM 157
شکل(5-2) بررسی سد پتانسیل از دیدگاه کوانتومی و دیدگاه کلاسیکی..... 160
شکل (5-3) کاربرد اثرتونل در ایجاد تصویر 161
شکل (5-4) مدهای آنالیز سطح توسط میکروسکوپ STM..... 161
شکل(5-5) نمونه ای از آنالیز STM 162
شکل (5-6) نمونه ای از آنالیز سطح طلا..... 162
شکل(5-7) آنالیزSTM برای اتم های co روی سطح مس..... 163
شکل (5-8) پراستفاده ترین کانتی لیورها وتیپ هایشان.....164
شکل (5-9) شماتیکی از کانتی لیور در میکروسکوپ AFM 165
شکل (5-10) اجزای یک میکروسکوپ AFM 165
شکل(5-11) : چگونگی نوسان تیپ هنگام عبور از روی قله یا در بر حسب دامنه و فاز. 166
شکل (5-12) مقایسه اتم های اندرکنشی تیپ در میکروسکوپ های AFM و STM.... 167
شکل(5-13) ساختار هندسی مربوط به میکروسکوپ SEM 168