



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد
رشته فیزیک اتمی و مولکولی (اپتیک - لیزر)

طراحی و ساخت آینه ضد بازتاب برای طول موج 1064 نانومتر از ترکیب مواد MgF_2 و CaF_2 برای بالا بردن آستانه تخریب

استاد راهنما:

دکتر محمد هادی ملکی

دکتر کاظم جمشیدی قلعه

استاد مشاور:

خانم مریم قشلاقی

پژوهشگر:

لیدا غفاری نیا

اسفند / ۱۳۹۱

تبریز / ایران

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

سپاس گذاری

با امتنان به درگاه ایزد یکتا،

تشکر و سپاس از اساتید دانشمند و پر مایه ام دکتر محمد هادی ملکی، دکتر کاظم جمشیدی قلعه و خانم مریم قشلاقی.

و با تشکر از آقای مهندس هاشم حجتی راد و همه عزیزانی که مرا در اتمام این پایان نامه یاری داده اند.

و سپاس فراوان از پدر بزرگوارم که همراهیشان قدم‌هایم را استوارتر کرد.

لیدا غفاری نیا

اسفند ۱۳۹۱

تبریز، ایران

فهرست مطالب

صفحه	فهرست موضوعات
یک	چکیده
۱	مقدمه
۴	فصل ۱
۴	درآمدی بر لایه‌های نازک
۵	۱-۱ مقدمه
۶	۲-۱ لایه نازک چیست؟
۷	۱-۲-۱ ویژگی‌های زیرلایه خوب
۸	۳-۱ روش‌های ساخت لایه نازک
۸	۱-۳-۱ تبخیر در خلاء
۹	۲-۳-۱ لایه نشانی به روش فیزیکی (PVD)
۱۰	۱-۲-۳-۱ تبخیر حرارتی
۱۱	۱-۱-۲-۳-۱ انواع منابع حرارتی
۱۱	۲-۱-۲-۳-۱ شرایط مورد نظر برای گرم‌کننده‌های مقاومتی
۱۲	۲-۲-۳-۱ تبخیر به وسیله تفنگ الکترونی
۱۲	۱-۲-۲-۳-۱ معایب و محاسن استفاده از تفنگ الکترونی

۱۳	..... ۳-۲-۳-۱ روشانی به وسیله باریکه مولکولی (MBE)
۱۴	..... ۴-۲-۳-۱ کندوپاش
۱۵	..... ۱-۴-۲-۳-۱ کندوپاش با جریان مستقیم
۱۶	..... ۳-۳-۱ لایه نشانی به روش تبخیر شیمیایی (CVD)
۱۹	..... فصل ۲
۱۹	..... پوشش اپتیکی و آستانه تخریب
۲۰	..... ۱-۲ مقدمه
۲۲	..... ۲-۲ انعکاس نور
۲۲	..... ۱-۲-۲ انعکاس در سطح بدون پوشش
۲۳	..... ۱-۱-۲-۲ شدت
۲۳	..... ۲-۱-۲-۲ زاویه تابشی
۲۴	..... ۳-۱-۲-۲ انعکاس خارجی در مرز دی الکتریک
۲۶	..... ۴-۱-۲-۲ انعکاس داخلی در مرز دی الکتریک
۲۷	..... ۳-۲ تغییر فاز روی انعکاس
۲۷	..... ۴-۲ تداخل
۲۹	..... ۱-۴-۲ تداخل فیلم نازک
۳۰	..... ۵-۲ پوشش‌های تک‌لایه ضد انعکاس
۳۱	..... ۱-۵-۲ ضخامت فیلم

- ۳۲..... ۲-۵-۲ ضریب شکست
- ۳۵..... ۳-۵-۲ وابستگی طول موج
- ۳۵..... ۴-۵-۲ زاویه فرود
- ۳۵..... ۵-۵-۲ فرمول پوشش
- ۳۵..... ۱-۵-۵-۲ فرمول پراکندگی پوشش
- ۳۶..... ۶-۵-۲ انعکاس از سطح پوشش داده شده در فرود عمود
- ۳۷..... ۷-۵-۲ انعکاس از سطح پوشش داده شده در فرود مایل
- ۴۰..... ۶-۲ پوشش‌های چند لایه ضد بازتاب
- ۴۰..... ۱-۶-۲ پوشش QUARTER / QUARTER
- ۴۲..... ۲-۶-۲ پوشش‌های دولایه‌ای با ضخامت دلخواه
- ۴۳..... ۳-۶-۲ پوشش‌های AR پهن باند
- ۴۳..... ۱-۳-۶-۲ لایه‌های ABSENTEE
- ۴۴..... ۷-۲ پوشش‌های (HR) : High – Reflection
- ۴۴..... ۸-۲ فیلترهای اپتیکی
- ۴۵..... ۱-۸-۲ آینه‌های اپتیکی
- ۴۶..... ۲-۸-۲ خصوصیات فیلترهای اپتیکی مورد استفاده در لیزر
- ۴۶..... ۳-۸-۲ زیرلایه فیلتر
- ۴۷..... ۴-۸-۲ فیلترهای اپتیکی توان بالای Nd:YAG
- ۴۸..... ۹-۲ آستانه تخریب
- ۴۸..... ۱-۹-۲ آستانه تخریب لیزرهای موج پیوسته (LDTCW)

۴۹	..... آستانه تخریب لیزرهای پالسی و معادله LDT
۵۰	..... آستانه تخریب لیزر پالسی در مقابل لیزر موج پیوسته
۵۱	..... آستانه تخریب لیزرهای پالس- طولانی (LDTLP)
۵۲	..... آستانه تخریب لیزرهای فراسریع
۵۲	..... تکنیک‌های اندازه‌گیری LDT
۵۳	..... مقیاس داده‌های تستی
۵۳	..... مکانیزیم‌های تخریب لیزر
۵۵	..... عوامل تاثیرگذار بر آستانه تخریب فیلم نازک اپتیکی
۵۶	..... دستیابی به آستانه تخریب بالای لیزری
۵۶	..... کنترل تولید و کیفیت
۵۷	..... معرفی مواد
۵۷	..... شیشه اپتیکی BK
۵۸	..... MgF_2
۶۰	..... مقایسه نموداری انعکاس از سطح BK بدون پوشش و BK با پوشش MgF_2
۶۰	..... CaF_2
۶۲	..... پوشش تک‌لایه منیزیم فلوراید
۶۴	..... فصل ۳
۶۴	..... روش‌های آنالیز لایه نازک
۶۵	..... مقدمه

۶۶.....	۲-۳ روش‌های شناسایی لایه‌های نازک
۶۷.....	۱-۲-۳ شناسایی به وسیله پرتو X (XRD)
۶۹.....	۱-۲-۳-۱ گسترش تکنیک پرتو X- برای لایه‌های نازک
۷۰.....	۲-۲-۳ طیف سنجی پراش پس پراکندگی رادرفورد (RBS)
۷۳.....	۳-۲-۳ میکروسکوپ‌های الکترونی
۷۳.....	۱-۳-۲-۳ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۷۶.....	۲-۳-۲-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۷۷.....	۳-۳-۲-۳ میکروسکوپ تونلی روبشی (STM)
۷۹.....	۴-۳-۲-۳ میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
۸۱.....	۴-۲-۳ میکروپروب اشعه ایکس
۸۳.....	۱-۴-۲-۳ بخش خلاء کامل
۸۳.....	۲-۴-۲-۳ بخش فشار اتمسفریک
۸۴.....	۳-۴-۲-۳ تفاوت XPMA با SEM
۸۴.....	۵-۲-۳ اسپکتروفوتومتر
۸۷.....	فصل ۴
	طراحی و ساخت آینه ضد بازتاب برای طول موج ۱۰۶۴ نانومتر از ترکیب مواد CaF_2 و MgF_2
۸۷.....	برای بالا بردن آستانه تخریب
۱۲۶.....	نتیجه‌گیری
۱۲۸.....	پیشنهادات

جدول (۱-۲) مشخصات فنی یک نمونه آینه اپتیکی با توان بالای Nd:YAG بهینه برای طول موج ۱۰۶۴ نانومتر	۴۸
جدول (۲-۲) پارامترهای کلیدی برای مشخص کردن خروجی لیزر پالسی	۵۱
جدول (۳-۲) داده‌هایی برای آستانه تخریب لیزر	۵۴
جدول (۴-۲) اطلاعات و مشخصات MgF_2	۵۸
جدول (۵-۲) اطلاعات و مشخصات CaF_2	۶۱
جدول (۱-۳) : محدوده انرژی و کاربردهای باریکه‌های الکترون، یون و فوتون در شناسایی لایه‌های نازک	۶۷
جدول (۱-۴) اسامی نمونه‌های تهیه شده به روش PVD با استفاده از قرص	۹۲
جدول (۲-۴) کارت ASTM برای منیزیم فلوراید	۱۰۷
جدول (۳-۴) کارت ASTM کلسیم فلوراید	۱۰۸
جدول (۴-۴) نتایج حاصل از طیف سنجی RBS نمونه‌ها با انرژی فرودی $E = 1780 KeV$	۱۱۶
جدول (۵-۴) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۲ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه	۱۱۷
جدول (۶-۴) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۳ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه	۱۱۸
جدول (۷-۴) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۴ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه	۱۱۹

جدول (۴-۸) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۵ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه ۱۲۰

جدول (۴-۹) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۶ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه ۱۲۱

جدول (۴-۱۰) مقایسه آستانه تخریب نمونه‌ها ۱۲۵

- شکل (۱-۱) قسمت‌های مختلف دستگاه تبخیر در خلاء ۱۰
- شکل (۲-۱) نمایی از رآکتور MBE ۱۴
- شکل (۳-۱) طرح واره‌ایی از اجزای مختلف دستگاه کندوپاش ۱۶
- شکل (۴-۱) طرح واره‌ایی از ساختار CVD ۱۷
- شکل (۵-۱) دستگاه تهیه لایه GaAs از طریق واکنش انتقالی: ۱- چشمه در دمای 425°C ۲- چشمه As در 800°C -۳ یا 750°C یا 900°C ۱۸
- شکل (۱-۲) انعکاس و پراکندگی از فصل مشترک شیشه و هوا ۲۲
- شکل (۲-۲) انعکاس خارجی در سطح شیشه ($n=1.52$) ۲۵
- شکل (۳-۲) زاویه بروستر: در این زاویه مولفه‌های پلاریزه p- به طور کامل در انعکاس باریکه غایب هستند ۲۵
- شکل (۴-۲) انعکاس داخلی در سطح شیشه ($n_2=1.52$) ۲۶
- شکل (۵-۲) زاویه‌های بحرانی و بروستر ۲۷
- شکل (۶-۲) نمایش ساده‌ای از الف- تداخل سازنده و ب- تداخل مخرب امواج ۲۸
- شکل (۷-۲) انعکاس‌های جلو و پشت سطح در فرود نزدیک به عمود برای فیلم نازک ۲۹
- شکل (۸-۲) شماتیک معرفی پوشش ضد بازتاب تک‌لایه با ضخامت اپتیکی $\frac{\lambda}{4}$ ۳۱
- شکل (۹-۲) عملکرد MgF_2 به عنوان پوشش طراحی شده در فرود 45° روی BK7 در طول موج ۵۵۰ نانومتر ۳۴
- شکل (۱۰-۲) انعکاس در فرود عمود از پوشش AR ۳۶

- شکل (۲-۱۱) انعکاس از سطح زیرلایه با n_g با لایه‌ایی از MgF_2 با $(n=1.38)$ با ضخامت $\frac{\lambda}{4}$ ۳۷
- شکل (۲-۱۲) انعکاس در فرود مایل بر سطح پوشش MgF_2 با زیرلایه شیشه‌ایی ۳۷
- شکل (۲-۱۳) تداخل در پوشش *quarter/quarter* ۴۱
- شکل (۲-۱۴) منحنی انعکاس برحسب طول موج (nm) پوشش V ۴۳
- شکل (۲-۱۵) بازتاب طول موج ۵۳۲ و ۱۰۶۴ نانومتر فیلتر اپتیکی Nd:YAG در زاویه فرودی 45° ۴۷
- شکل (۲-۱۶) نمایی از تست آستانه تخریب لیزر با لیزر Nd:YAG ۵۳
- شکل (۲-۱۷) نمودار درصد عبور بر حسب طول موج برای شیشه اپتیکی BK-7 ۵۷
- شکل (۲-۱۸) نمایی از شکل ساختاری MgF_2 ۵۹
- شکل (۲-۱۹) عبور خارجی از MgF_2 برحسب طول موج (μm) ۵۹
- شکل (۲-۲۰) مقایسه نموداری بازتاب BK7 با پوشش MgF_2 و BK7 بدون پوشش برحسب طول موج ۶۰
- شکل (۲-۲۱) نمایش ساختاری CaF_2 ۶۱
- شکل (۲-۲۲) عبور خارجی از CaF_2 برحسب طول موج (μm) ۶۲
- شکل (۲-۲۳) الف- پوشش تک‌لایه MgF_2 (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) ب- پوشش تک‌لایه MgF_2 (۵۲۰-۸۲۰ نانومتر) ۶۳
- شکل (۳-۱) نمایش پدیده پرتو X از صفحه اتمی با فاصله d از یکدیگر ۶۸
- شکل (۳-۲) شماتیک کلی RBS ۷۲
- شکل (۳-۳) نمایی از شتاب‌دهنده یونی و ابزارهای دستگاه RBS ۷۲
- شکل (۳-۴) نمایش اجزای از دستگاه TEM ۷۴
- شکل (۳-۵) نمایی از دستگاه TEM ۷۵

- شکل (۶-۳) شماتیکی از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۷۷
- شکل (۷-۳) دو روش تصویربرداری از طریق STM ۷۸
- شکل (۸-۳) شماتیک عملکرد STM ۷۹
- شکل (۹-۳) شماتیک عملکرد میکروسکوپ نیروی اتمی ۸۰
- شکل (۱۰-۳) دستگاه آنالیز میکروپروب اشعه ایکس ۸۲
- شکل (۱-۴) نمایی از دستگاه Balzers- BA510 ۸۹
- شکل (۲-۴) بوته دستگاه لایه نشانی PVD ۹۰
- شکل (۳-۴) یک زیرلایه BK7 لایه نشانی شده با MgF_2 ۹۱
- شکل (۴-۴) نمایی از دستگاه قرص ساز ۹۲
- شکل (۵-۴) قرص و ماده مخلوط ۹۲
- شکل (۶-۴) نمودار درصد عبور نمونه ۱ بر حسب طول موج (نانومتر) حاصل از برنامه Macload ۹۴
- شکل (۷-۴) نمودار درصد عبور نمونه ها نسبت به طول موج (نانومتر) ۹۴
- شکل (۸-۴) دستگاه SEM مدل EM ۳۲۰۰ ۹۵
- شکل (۹-۴) دستگاه SEM مدل EM ۳۲۰۰ و نمایش خروجی ۹۵
- شکل (۱۰-۴) دستگاه Sputer Coater برای انباشتن طلا روی نمونه ها ۹۶
- شکل (۱۱-۴) پایه دستگاه SEM که نمونه ها را روی آن می چسبانند ۹۶
- شکل (۱۲-۴) الف- تصویری از مورفولوژی نمونه ۱ تهیه شده توسط SEM ب- ضخامت اندازه گرفته شده توسط SEM ۹۷
- شکل (۱۳-۴) الف- تصویری از مورفولوژی نمونه ۲ تهیه شده توسط SEM ب- ضخامت اندازه گرفته شده توسط SEM ۹۸ و ۹۹

- شکل (۴-۱۴) الف-تصویری از مورفولوژی نمونه ۳ تهیه شده توسط SEM ب-ضخامت اندازه گرفته شده توسط SEM ۱۰۰
- شکل (۴-۱۵) الف-تصویری از مورفولوژی نمونه ۴ تهیه شده توسط SEM ب-ضخامت اندازه گرفته شده توسط SEM ۱۰۱ و ۱۰۲
- شکل (۴-۱۶) الف-تصویری از مورفولوژی نمونه ۵ تهیه شده توسط SEM ب-ضخامت اندازه گرفته شده توسط SEM ۱۰۳
- شکل (۴-۱۷) الف-تصویری از مورفولوژی نمونه ۶ تهیه شده توسط SEM ب-ضخامت اندازه گرفته شده توسط SEM ۱۰۴ و ۱۰۵
- شکل (۴-۱۸) طیف XRD مربوط به لایه نازک نمونه ۱ با زیرلایه شیشه‌ای BK7 ۱۰۹
- شکل (۴-۱۹) طیف XRD مربوط به لایه نازک نمونه ۲ با زیرلایه شیشه‌ای BK7 ۱۰۹
- شکل (۴-۲۰) طیف XRD مربوط به لایه نازک نمونه ۳ با زیرلایه شیشه‌ای BK7 ۱۱۰
- شکل (۴-۲۱) طیف XRD مربوط به لایه نازک نمونه ۴ با زیرلایه شیشه‌ای BK7 ۱۱۰
- شکل (۴-۲۲) طیف XRD مربوط به لایه نازک نمونه ۵ با زیرلایه شیشه‌ای BK7 ۱۱۱
- شکل (۴-۲۳) طیف XRD مربوط به لایه نازک نمونه ۶ با زیرلایه شیشه‌ای BK7 ۱۱۱
- شکل (۴-۲۴) طیف RBS نمونه ۲ (۱۰٪) با انرژی فرودی ۲۰۰۰ keV و زاویه فرودی باریکه یونی صفر و زاویه پراکندگی ۱۶۵ درجه ۱۱۳
- شکل (۴-۲۵) طیف RBS نمونه ۳ (۲۰٪) با انرژی فرودی ۲۰۰۰ keV و زاویه فرودی باریکه یونی صفر و زاویه پراکندگی ۱۶۵ درجه ۱۱۴
- شکل (۴-۲۶) طیف RBS نمونه ۴ (۳۰٪) با انرژی فرودی ۲۰۰۰ keV و زاویه فرودی باریکه یونی صفر و زاویه پراکندگی ۱۶۵ درجه ۱۱۴
- شکل (۴-۲۷) طیف RBS نمونه ۵ (۴۰٪) با انرژی فرودی ۲۰۰۰ keV و زاویه فرودی باریکه یونی صفر و زاویه پراکندگی ۱۶۵ درجه ۱۱۵

- شکل (۴-۲۸) طیف RBS نمونه ۶ (۰.۵۰٪) با انرژی فرودی ۲۰۰۰ keV و زاویه فرودی باریکه یونی صفر و زاویه پراکندگی ۱۶۵ درجه ۱۱۵
- شکل (۴-۲۹) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۲ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه ۱۱۷
- شکل (۴-۳۰) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۳ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه ۱۱۸
- شکل (۴-۳۱) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۴ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه ۱۱۹
- شکل (۴-۳۲) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۵ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه ۱۲۰
- شکل (۴-۳۳) نمایش میزان عناصر موجود در نمونه ۶ حاصل از آنالیز XPMA با جریان اشعه ایکس 1mA و ولتاژ 50kV در خلاء در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه ۱۲۱
- شکل (۴-۳۴) نمودار مربوط به میزان مقدار CaF_2 موجود در نمونه‌ها در آنالیز XPMA ۱۲۲
- شکل (۴-۳۵) نمودار مربوط به میزان مقدار MgF_2 موجود در نمونه‌ها در آنالیز XPMA ۱۲۲
- شکل (۴-۳۶) مقایسه مقادیر CaF_2 و MgF_2 موجود در نمونه‌ها حاصل از آنالیز XPMA ۱۲۳
- شکل (۴-۳۶) نمایش تست آستانه تخریب ۱۲۴

چکیده

در این پایان‌نامه، قرص‌هایی با مواد CaF_2 و MgF_2 با درصدهای مختلفی از CaF_2 تهیه شده، لایه‌های نازکی از آنها با استفاده از روش فیزیکی PVD بوسیله دستگاه Balzer روی زیرلایه BK7 تهیه گردید. جهت مطالعه مورفولوژی و خواص ساختاری نمونه‌های بدست آمده، از آنالیزهای XRD و SEM، و برای شناسایی درصد عناصر موجود در آنها از تست RBS و XPMA استفاده شد. مطالعه و بررسی خواص اپتیکی لایه‌های تهیه شده با استفاده از روش آنالیز طیف عبوری آنها در محدوده ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر انجام شد. برای بررسی تغییرات آستانه تخریب، آزمایش تخریب با لیزر Nd:YAG در هارمونیک دوم طول موج ۱۰۶۴ نانومتر (۵۳۲ نانومتر) انجام گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که نمونه حاصل از مخلوط MgF_2 و CaF_2 (۲۰٪) بهترین شرایط را برای استفاده در آینه ضدبازتاب دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آینه ضدبازتاب، روش لایه نشانی PVD، آستانه تخریب، CaF_2 ، MgF_2

مقدمه

لایه نشانی به معنی نشانیدن لایه‌ای نازک از ذرات بر روی اجسام مورد نظر در یک محیط دارای خلأ نسبی می‌باشد. این عمل به واسطه پلاسمای ایجاد شده در این محیط صورت می‌گیرد (پلاسمای گازی متشکل از یون‌ها و الکترون‌های آزاد است). عمل لایه نشانی به روش‌های مختلفی قابل انجام است. در روش لایه نشانی بخار فیزیکی (PVD) ماده‌ای که لایه نشانی می‌شود از یک جامد یا مایع به دست می‌آید. در روش لایه نشانی بخار شیمیایی (CVD) ماده‌ای که لایه نشانی می‌شود از بخار ماده‌ای پس از تجزیه حرارتی آن روی یک سطح داغ به دست می‌آید. با لایه نشانی روی شیشه‌ها می‌توان آینه‌هایی با خواص گوناگون برای اهداف معین در مورد بازتاب، جذب، عبور و افزایش آستانه تخریب ساخت.

جهان علمی اطراف ما به شدت در امر بازتاب مجذوب شده است. مواد ضدبازتاب تنها از جنبه قدرت بالایشان در جذب مورد توجه نیستند بلکه آن دسته از ویژگی‌ها و خصوصیات که به آن‌ها این امکان را می‌دهد نیز از دید دانشمندان جالب و قابل بررسی است. برای درک این موضوع ما باید تولید رنگ‌ها را از یک سطح و روش‌های کنترل آن‌ها را بهتر بدانیم. می‌توانیم مکانیزم تولید رنگ را به دسته‌های مختلف یعنی پروسه انکسار، تداخل، تفرق، جذب و تابش دسته‌بندی کنیم. به عنوان مثال رنگ تولید شده در فیلم‌های نازک، یک حباب یا پرهای یک طاووس ناشی از پدیده تداخل می‌باشد. رنگ آسمان نیز در اثر پدیده تفرق تابش‌ها و رنگ رنگین کمان در نتیجه پدیده شکست می‌باشد. با فرض اینکه ما اطلاعات گسترده‌ای در زمینه پروسه تولید رنگ‌ها داریم، شیوه کنترل آن‌ها را

به هنگام خروج از یک سطح مورد بررسی قرار می‌دهیم تا بتوانیم خصوصیات و ویژگی‌های ضدانعکاس آن سطح را اندازه‌گیری کنیم. با ظهور موج اپتیکی هنگامی که رنگ‌ها را به طور اختصاصی تر از نقطه نظر طول موج نوری مورد بررسی قرار می‌دهیم می‌بینیم که دو پدیده تولید رنگ و ویژگی ضدانعکاس سطح با یکدیگر رابطه تنگاتنگی دارند. مثلاً در بیشتر ساختارهای غیر متحرک شیء سبز در نتیجه ویژگی ضدانعکاسش نسبت به بقیه طول موج نور تابیده شده پدیدار می‌شود، یعنی این شیء در مقابل تابش نور تمام طول موج‌ها به جز آن بخشی که منجر به تولید رنگ سبز می‌شود را جذب می‌کند. مثالی دیگر از این نوع سیستم‌ها پر طاووس می‌باشد، یعنی پر طاووس تنها آن بخش از طول موج‌هایی را منعکس می‌کند که وقتی با هم تداخل پیدا می‌کنند رنگ سبز تولید می‌کنند و بقیه طول موج‌ها را جذب می‌کند یا به عبارتی در مقابل بقیه طول موج‌ها از خود خاصیت ضدبازتاب نشان می‌دهد. از این نوع رنگ‌ها که رنگ‌های فیزیکی نامیده می‌شود در محیط اطراف بسیار زیاد است مثل رنگ بال‌های پروانه، رنگ پوست مار و... چنانچه ما طبیعت تولید رنگ را بیشتر مورد بررسی قرار دهیم یک وجه اشتراکی بین انواعی که در بالا مطرح شد وجود دارد و آن این است که اغلب آن‌ها (سطوح رنگی) به صورت میکرو و یا حتی نانو ساختار می‌باشند و یک سطح صاف و مسطح نیستند. همانطور که می‌دانیم سطوح صاف و صیقلی نسبت به سطوحی که زبرتر و ناهموارتر هستند درخشان‌تر می‌باشند. شاید اولین و اساسی‌ترین دلیلی که برای این پدیده طبیعی به ذهن می‌رسد این باشد که این امر به خاطر کاهش بازتاب از سطوح ناهموار نسبت به سطوح هموار می‌باشد. اما این تصور نتیجه یک دلیل اصلی‌تر یعنی چگالی نوری است که بعدها ضریب شکست نامیده شد. این ضریب ماده واسط را از لحاظ سرعت نور در آن نسبت به سرعت نور در هوا توصیف می‌کند.

هر گونه تغییر در سرعت نور به دلیل وجود مواد مختلف با ضریب شکست‌های مختلف می‌باشد، که این امر به عنوان یک اختلال یا اغتشاش نوری برای چشم و یا هر آشکارساز نوری شناخته می‌شود. چنانچه مواد دارای ضریب شکست یکسانی باشند آن گاه این اختلال صفر می‌شود. به عنوان مثال اگر یک لیوان غوطه‌ور در آب خیلی قابل تشخیص نیست به دلیل هماهنگ بودن ضریب شکست لیوان با ضریب شکست آب می‌باشد که در نتیجه بازتاب از سطح لیوان کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توانیم نتیجه بگیریم که هرچه ضریب شکست یک ماده با ضریب شکست هوا ($n=1$) هماهنگ‌تر و