



14224



دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده علوم-گروه فیزیک

رساله ارائه شده جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد فیزیک

(گرایش اتمی و مولکولی)

نمایه نگاری تغییرات سطح با روش تداخل سنجی اسپکلی دیجیتالی با فاز

متغیر پله‌ای

دانشجو:

علی موسویان

استاد راهنما:

دکتر حمید لطیفی

بهمن ۱۳۸۸

۱۳۸۹ / ۷ / ۲۲

کتابخانه مرکزی
شهر شهید بهشتی

۱۴۲۳۴۲



دانشگاه شهید بهشتی

بسمه تعالی

تاریخ
شماره
پیوست

« صور تجلسه دفاع پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد »

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین

تلفن: ۲۹۹۰۱

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۲۴۴ / ۲۰۰ / د مورخ ۸۸ / ۱۱ / ۷ جلسه هیأت
داوران ارزیابی پایان نامه آقای علی موسویان به شماره شناسنامه ۵۶۹۳ صادره از
تهران متولد ۱۳۶۳ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته رشته فیزیک - اتمی
مولکولی
با عنوان :

نمایه نگاری تغییرات سطح به روش تداخل سنجی اسپکلی دیجیتال با فاز
متغیر پله ای

به راهنمایی:

آقای دکتر حمید لطیفی

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۸۸ / ۱۱ / ۱۴ تشکیل گردید و براساس رأی هیأت داوری
و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵ / ۱۰ / ۲۵ پایان نامه
مزبور با نمره ۱۹ / ۵ درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

۱- استاد راهنما: آقای دکتر حمید لطیفی

۲- استاد داور: آقای دکتر محمد حسین مجلس آرا جهرمی

۳- استاد داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر عزالدین مهاجرانی

۴- معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: آقای دکتر خسرو جدیدی

تقدیم به پیشگاه مقدس حضرت ولی عصر

بی تردید بدون راهنمایی ها و کمک های استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر لطیفی هرگز این پایان نامه به نتیجه مطلوب نمی رسید. از این رو لازم می دانم که نهایت تشکر و قدردانی خود را برای همه مساعدت ها، نسبت به ایشان ابراز نمایم. همچنین از خانواده ام که حمایت های معنوی آنان پیمودن این راه دشوار را برایم آسان تر نمود قدردای می نمایم. راهنمایی های ارزنده آقایان دکتر ریاحی در زمینه برنامه نویسی و داده برداری، مهدی شافعی و دکتر قمی در مقوله الکترونیک و ابراهیم بحرودی در زمینه برنامه نویسی نیز در پیشرفت این پایان نامه بسیار تاثیر گذار بوده است. از دوستان عزیزم آقایان احسان ثقفی یزدی، علی موذن زاده، علی حیدر نیا و مهدی افشاری و عباس مدنی که در مراحل مختلف این پروژه هر یک به نحوی از من حمایت نموده اند، تشکر می نمایم. در انتها از آقایان امینی و فتحی، مسئولان محترم کارگاه پژوهشکده لیزر و دیگر اعضای محترم پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی سپاس گزاری می نمایم.

چکیده

در این پایان نامه روش تداخل سنجی اسپکلی دیجیتالی به منظور بررسی تغییرات اعمال شده به سطح در اثر اعمال بار حرارتی مورد مطالعه از منظر تئوری و عملی قرار گرفته است. اندازه‌گیری این تغییرات به دو روش صورت پذیرفته است. در ابتدا چیدمان تداخل سنجی اسپکلی را مورد بررسی قرار داده‌ایم. لیزر دیودی با طول موج ۶۶۲ نانومتر به عنوان منبع نور همدوس در تداخل سنجی مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه مورد بررسی، پتانسیومتری مکعبی شکل است که با عبور جریان گرم می‌شود و سطح آن شروع به انبساط می‌کند. با تحلیل نقش اسپکلی تداخلی حاصل از تابش لیزر به سطح نمونه، فرانژهای ثانویه ای تولید می‌شود که هر فرانژ نشان‌گر رخداد جابجایی به میزان $\lambda/2$ در راستای خارج-صفحه ای بر سطح نمونه است. داده برداری، کنترل و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار LabVIEW صورت پذیرفته است. انجام این آزمایش به صورت بهنگام^۱ صورت پذیرفته است.

در ادامه الگوریتم پنج پله ای هاریهاران^۲ برای بدست آوردن نمایه تغییرات سطح با روش فاز پله ای مورد بررسی قرار گرفته است. فاز پرتو مرجع در پنج پله با اختلاف فاز $\pi/2$ نسبت به یکدیگر جابجا می‌شود. جابجا کردن فاز با کمک آینه متصل به سلول پیزو الکتریک انجام می‌شود. در اینجا نیز برای کنترل میزان جابجایی سلول پیزو الکتریک از نرم افزار LabVIEW استفاده شده است. نتایج حاصله، نمایه تغییرات سطح و راستای جابجایی را نشان می‌دهد. دقت نتایج در این مرحله در مرتبه $\lambda/20$ بوده است.

کلید واژه: نمایه نگاری تغییرات- اسپکل لیزری- پردازش تصویر- بازیابی فاز- فاز پله‌ای- تداخل سنجی

فهرست مطالب

۱	۱- آزمون های غیر مخرب
۲	۱.۱- ضرورت بازرسی
۵	۱.۲- انواع سیستم بازرسی
۵	۱.۳- کیفیت بازرسی
۵	۱.۴- اعتبار عیب یابی
۶	۵.۱- فواید آزمون های غیر مخرب
۶	۱.۶- روشهای اپتیکی در آزمون های غیرمخرب
۷	۱.۷- روشهای غیرمخرب لیزری در اندازه گیری
۸	۲- اسپکل لیزری و تداخل سنجی اسپکلی
۹	۱.۲- اسپکل لیزری
۱۰	۲.۲- تاریخچه تداخل های چند موجی و اسپکلی
۱۱	۳.۲- آمار میدان اسپکلی قطبیده
۱۲	۱.۳.۲- بررسی پدیده قدم زدن تصادفی در فضای مختلط
۱۳	۲.۳.۲- آمار شدت و فاز میدان اسپکلی
۱۷	۴.۲- تداخل سنجی هولوگرافی
۱۸	۱.۴.۲- فرانزهای ثانویه در تداخل سنجی هولوگرافی
۱۹	۲.۴.۲- بردار حساسیت
۲۰	۵.۲- ورود اسپکل تداخلی به عرصه علم
۲۲	۶.۲- تداخل میدان اسپکلی لیزری
۲۶	۷.۲- انواع روش های تداخل سنجی اسپکلی دیداری
۲۷	۸.۲- تشکیل فرانزهای هم بسته
۲۸	۹.۲- تداخل سنجی اسپکلی الکترونیکی
۳۱	۳- داده برداری با روش فاز پله ای و بازیابی نقشه فاز
۳۲	۱.۳- مفاهیم اولیه
۳۵	۲.۳- مزایای روش فاز پلکانی
۳۷	۳.۳- روش های متداول در ایجاد جابجایی فاز
۳۸	۴.۳- الگوریتم های تداخل سنجی با فاز پلکانی
۳۹	۱.۴.۳- الگوریتم چهار پله ای
۴۰	۲.۴.۳- الگوریتم سه پله ای
۴۲	۳.۴.۳- الگوریتم های جبران کننده ایرادهای اختلاف فاز

۴۵	۵.۳- جمع آوری داده های تداخل سنجی با فاز پلکانی
۴۶	۶.۳- بازیابی فاز
۵۱	۴- اندازه گیری تغییرات خارج صفحه ای نمونه با روش تداخل سنجی اسپکلی دیجیتال
۵۲	۱.۴- نیاز های تداخل سنجی اسپکلی
۵۳	۲.۴- چیدمان آزمایش
۵۹	۳.۴- بدست آوردن نقش فرانژ های ثانویه و پردازش تصویر
۶۱	۴.۴- نرم افزار پردازش تصویر
۶۵	۵.۴- نتایج
۷۰	۵- بدست آوردن نمایه تغییرات خارج صفحه ای نمونه با روش تداخل سنجی اسپکلی با فاز متغییر پلکانی
۷۱	۱.۵- نیاز های تداخل سنجی اسپکلی با فاز متغییر پله ای
۷۲	۲.۵- جابجا کننده فاز
۷۳	۱.۲.۵- مدار راه انداز الکترونیکی سلول پیزو الکتریک
۷۸	۲.۲.۵- برنامه کنترل و مانیتورینگ مدار راه انداز
۸۰	۳.۲.۵- کالیبراسیون جابجا کننده فاز
۸۵	۳.۵- چیدمان آزمایش
۸۹	۴.۵- داده برداری با الگوریتم ۵ پله ای هاریهاران
۹۲	۵.۵- انجام آزمایش
۹۲	۱.۵.۵- تعیین ولتاژهای مورد نیاز مدار راه انداز
۹۴	۲.۵.۵- برنامه کنترل، داده برداری و پردازش تصویر
۹۶	۳.۵.۵- فیلتر تصویر پایین گذر
۹۷	۴.۵.۵- بدست آوردن نقشه فاز
۹۸	۵.۵.۵- بازیابی نقشه فاز
۱۰۰	۶.۵- نتایج
۱۰۵	جمع بندی
۱۰۶	پیشنهادات
۱۰۷	پیوست الف
۱۲۵	مراجع

فهرست جداول

جدول ۱.۱	منشاء بعضی از عیوبی که در مواد و قطعات یافت می‌شود	۲
جدول ۲.۱	روش های متداول آزمون های غیر مخرب، موارد استعمال و ضعیف آن ها	۳
جدول ۱.۴	مشخصات لیزر دیودی مورد استفاده	۵۲
جدول ۲.۴	مشخصات حسگر تصویر مورد استفاده	۵۷
جدول ۳.۴	مشخصات کارت تصویر برداری مورد استفاده (NI-PCI-1411)	۵۸
جدول ۴.۴	مقایسه کیفیت تضاد نقش فرانزهای ثانویه برای معادلات متفاوت قیاس دو نقش اسپکلی تداخلی	۶۳
جدول ۱.۵	مشخصات لیزر مورد استفاده	۷۱
جدول ۲.۵	مشخصات کارت داده برداری NI-PCI-6221	۷۸
جدول ۳.۵	ولتاژهای لازم برای تولید پله های فاز با اختلاف $\pi/2$	۹۲
جدول ۴.۵	داده حاصل از تداخل سنجی اسپکلی در ۵ فاز با پله های فاز $\frac{\pi}{2}$	۱۰۰
جدول ۵.۵	داده حاصل از تداخل سنجی اسپکلی در ۵ فاز با پله های فاز $\frac{\pi}{2}$	۱۰۲

فهرست تصاویر

- شکل ۱.۲ نمونه نقش اسپکلی..... ۹
- شکل ۲.۲ تهیه نقش اسپکلی به طریق انتشار آزاد..... ۱۱
- شکل ۳.۲ تهیه نقش اسپکلی به کمک سیستم اپتیکی تصویرساز..... ۱۱
- شکل ۴.۲ برآیند مولفه های فازور در فضای مختلط..... ۱۳
- شکل ۵.۲ تابع توزیع احتمالاتی آماری یکانی برای شدت بالاتر از I برای میدان اسپکلی قطبیده..... ۱۶
- شکل ۶.۲ تهیه هولوگرام تداخلی بر روی فیلم هولوگرام با روش دوبار نوردهی..... ۱۷
- شکل ۷.۲ نقش تداخل هولوگرافی یک صفحه که از پنج نقطه محکم شده و تحت بار یکنواخت قرار دارد..... ۱۸
- شکل ۸.۲ موقعیت بردار حساسیت و جابجایی جسم نسبت به یکدیگر..... ۱۹
- شکل ۹.۲ آزمایش تشکیل نقش اسپکل تداخلی..... ۲۱
- شکل ۱۰.۲ تصویر نقش اسپکلی تداخلی تولید شده از سطح یک کارت. چپ: کارت در حالت ایستا، راست: کارت در حال حرکت..... ۲۱
- شکل ۱۱.۲ اندازه اسپکل ها مانند اندازه تداخل نور همدوس از دو لبه بالایی و پایینی روزنه است..... ۲۳
- شکل ۱۲.۲ دو برابر شدن ابعاد اسپکل ها بدلیل رخ دادن تداخل..... ۲۴
- شکل ۱۳.۲ توزیع دانسیته احتمالاتی برای نسبت های متفاوت r در میدان نقش اسپکلی تداخلی..... ۲۵
- شکل ۱۴.۲ توزیع دانسیته احتمالاتی برای نسبت $r=1$ در میدان نقش اسپکلی تداخلی..... ۲۵
- شکل ۱۵.۲ توزیع دانسیته احتمالاتی برای نسبت $r=1$ در میدان نقش اسپکلی تداخلی برای شدت های میانگین کل میدان اسپکلی برابر با ۱، ۲ و ۴..... ۲۶
- شکل ۱۶.۲ تداخل سنج اسپکلی دیداری بر پایه تداخل سنج مایکلسون..... ۲۶
- شکل ۱۷.۲ بررسی تشکیل فرانژهای هم بسته بوسیله داخل سنج مایکلسون تغییر یافته..... ۲۷
- شکل ۱۸.۲ چیدمان شماتیک تداخل سنج اسپکلی الکترونیکی..... ۲۹
- شکل ۱۹.۲ نقش فرانژهای تشکیل شده از چیدمان تداخل سنجی اسپکلی در اثر اعمال بار..... ۳۰
- شکل ۱.۳ جابجایی شدت یک نقطه بر روی نقشه طرح تداخلی نسبت به جابجایی فاز در یک بازوی تداخل سنج..... ۳۴
- شکل ۲.۳ اثر جابجا شدن فاز پرتو مرجع در تداخل سنج با پله های فاز ۹۰ درجه و حرکت نقش فرانژها..... ۳۴
- شکل ۳.۳ در تداخل سنجی سنتی تعیین مکان مرکز هر باند فرانژی باید تعیین شود..... ۳۵
- شکل ۴.۳ جابجا کردن فاز پرتو مرجع در تداخل سنج تویمان گرین..... ۳۷
- شکل ۵.۳ میزان انحراف فاز پرتو فرودی در تابش غیر عمودی..... ۳۸
- شکل ۶.۳ نمودار وابستگی نقشه فاز به زاویه پله های فاز..... ۴۵
- شکل ۷.۳ چیدمان شماتیک روش جابجایی فاز فضایی..... ۴۶
- شکل ۸.۳ نقشه فاز در مقیاس خاکستری..... ۴۷
- شکل ۹.۳ مقدار نقشه فاز در یک بعد..... ۴۷
- شکل ۱۰.۳ پرش های فاز مستتر در نقشه فاز شکل ۹.۳..... ۴۸
- شکل ۱۱.۳ نمایه سطح پس از بازیابی فاز. این تصویر مجموع درایه های متناظر شکل ۹.۳ و ۱۰.۳ است..... ۴۸
- شکل ۱۲.۲ روند جارو کردن نقشه فاز برای بازیابی فاز به صورت خط به خط..... ۴۹
- شکل ۱۳.۳ نقشه فاز و بازیابی آن..... ۴۹
- شکل ۱.۴ لیزر دیودی مورد استفاده در تداخل سنجی..... ۵۳
- شکل ۲.۴ تصویر شماتیک چیدمان تداخل سنجی اسپکلی دیجیتالی..... ۵۶

- شکل ۳.۴ تصویر چیدمان تداخل سنجی اسپکلی دیجیتالی ۵۷
- شکل ۴.۴ حسگر الکترونیکی تصویر مورد استفاده در انجام تداخل سنجی ۵۸
- شکل ۵.۴ کارت تصویر برداری مورد استفاده (NI PCI 1411) ۵۸
- شکل ۶.۴ تصویر چپ نمونه تحت بررسی که در اثر پراکنده شدن نور لیزر از سطح آن اسپکل بر روی آن تشکیل شده است. تصویر راست همان نمونه در حالی که پرتو مرجع برای تولید نقش تداخلی به نقش اسپکلی افزوده شده است ۵۹
- شکل ۷.۴ تصویر چپ فرانژهای ثانویه تولید شده در اثر عمل جمع دو تصویر خام تداخلی. تصویر راست فرانژهای ثانویه تولید شده در اثر عمل تفاضل دو تصویر خام تداخلی ۶۰
- شکل ۸.۴ نمونه ای از محیط برنامه نویسی لب ویو ۶۲
- شکل ۹.۴ صفحه ارتباط با کاربر برنامه نوشته شده برای بدست آوردن نقش فرانژ ثانویه ۶۴
- شکل ۱۰.۴ صفحه ارتباط با کاربر برنامه نوشته شده برای بدست آوردن زمان دقیق تشکیل نقش فرانژ ثانویه ۶۵
- شکل ۱۱.۴ صفحه نمونه پتانسیومتر تحت بررسی ۶۶
- شکل ۱۲.۴ نتیجه فشار وارد کردن به نمونه تحت بررسی در راستای عمود بر صفحه حسگر ۶۶
- شکل ۱۳.۴ فرانژهای تشکیل شده بر روی سطح پتانسیومتر در ۶ زمان متفاوت ۶۷
- شکل ۱۴.۴ بررسی تکرار پذیری آزمایش در حین گرم کردن نمونه تحت بررسی در فشار اتمسفری و بررسی میزان انبساط آن با کمک شمارش فرانژهای ثانویه ۶۸
- شکل ۱۵.۴ بررسی تکرار پذیری آزمایش در حین گرم کردن نمونه تحت بررسی در خلاء و بررسی میزان انبساط آن با کمک شمارش فرانژهای ثانویه ۶۸
- شکل ۱۶.۴ بررسی آهنگ گرم شدن نمونه تحت بررسی در اثر عبور جریان از آن در دو فشار اتمسفری و فشار ۴.۵۵ mbar ۶۹
- شکل ۱.۵ لیزر مورد استفاده در تداخل سنجی ۷۲
- شکل ۲.۵ تصویر دو سلول پیزو الکتریک. چپ: سلول مورد استفاده در انجام آزمایش. راست: یک سلول پیزو الکتریک منفرد ۷۳
- شکل ۳.۵ مدار راه انداز سلول پیزو الکتریک ۷۴
- شکل ۴.۵ مدار راه انداز سلول پیزو الکتریک ۷۵
- شکل ۵.۵ مدار یکسو کننده جریان برای تغذیه کلکتور ترانزیستور MJE 13007 ۷۵
- شکل ۶.۵ مدار تولید جریان یکسو ۷۶
- شکل ۷.۵ مجموعه اتوتراس و ترانس ۱:۱ برای تغذیه مدار از برق شهر ۷۶
- شکل ۸.۵ کارت داده برداری تبدیل آنالوگ به دیجیتال NI PCI 6221 ۷۹
- شکل ۹.۵ صفحه ارتباط با کاربر برنامه نوشته شده برای اعمال ولتاژ دلخواه به مدار راه انداز ۸۰
- شکل ۱۰.۵ چیدمان تداخل سنج مایکلسون برای کالیبراسیون سلول پیزو الکتریک ۸۱
- شکل ۱۱.۵ صفحه ارتباط با کاربر برنامه نوشته شده برای اعمال ولتاژ پیوسته به سلول پیزو الکتریک و خواندن خروجی فوتودیود ۸۱
- شکل ۱۲.۵ نمودار ولتاژ تقویت شده توسط مدار راه انداز نسبت به ولتاژ اعمال شده توسط کارت آنالوگ به دیجیتال ۸۲
- شکل ۱۳.۵ نمودار ولتاژ دریافت شده از فوتودیود نسبت به ولتاژ تقویت شده اعمالی به سلول پیزوالکتریک ۸۲
- شکل ۱۴.۵ نمودار ولتاژ دریافت شده از فوتودیود و میانگین ولتاژ، نسبت به ولتاژ تقویت شده اعمالی به سلول پیزوالکتریک ۸۳
- شکل ۱۵.۵ نمودار انحراف از معیار استاندارد میانگین ولتاژ دریافت شده از فوتودیود نسبت به ولتاژ تقویت شده اعمالی به سلول پیزوالکتریک در ۱۰ مرتبه انجام آزمایش ۸۳
- شکل ۱۶.۵ نتیجه تطبیق دادن نمودار ولتاژ دریافت شده از فوتودیود نسبت به ولتاژ تقویت شده اعمالی به سلول پیزوالکتریک در ۱۰ مرتبه انجام آزمایش ۸۴

- شکل ۱۷.۵ ناحیه ای که در آن تطبیق با تابع سینوسی به خوبی انجام شده است ۸۵
- شکل ۱۸.۵ پایه نگهدارنده سلول پیزوالکتریک ۸۸
- شکل ۱۹.۵ تصویر شماتیک چیدمان تداخل سنجی اسپکلی دیجیتالی با فاز متغیر پله‌ای ۸۸
- شکل ۲۰.۵ تصویر چیدمان تداخل سنجی اسپکلی دیجیتالی ۸۹
- شکل ۲۱.۵ نمودار میزان جابجایی فاز برای تابش عمودی و تابش زاویه دار ۴۵ درجه در اثر اعمال ولتاژ به سلول پیزوالکتریک ... ۹۱
- شکل ۲۲.۵ صفحه ارتباط با کاربر برنامه تنظیم ولتاژ بهینه تغذیه یکسو شده مدار ۹۳
- شکل ۲۳.۵ صفحه ارتباط با کاربر برنامه داده برداری و کنترل و پردازش تصویر تداخل سنجی اسپکلی با فاز متغیر ۹۵
- شکل ۲۴.۵ تصویر چپ: تصویر اصلی. تصویر میانی: قسمت کسینوسی تصویر اصلی نرمال شده به ۲۵۵. تصویر راست: قسمت سینوسی تصویر اصلی نرمال شده به ۲۵۵ ۹۶
- شکل ۲۵.۵ چپ: قسمت سینوسی پس از اعمال فیلتر پایین گذر. راست: قسمت کسینوسی پس از اعمال فیلتر پایین گذر ۹۷
- شکل ۲۶.۵ چپ: تصویر فیلتر شده به روش سینوسی-کسینوسی. راست: تصویر فیلتر شده به روش متداول ۹۷
- شکل ۲۷.۵ نمونه چند نقشه فاز بدست آمده از الگوریتم هاریهاران ۹۸
- شکل ۲۸.۵ بازیابی دو نقشه فاز ۹۹
- شکل ۲۹.۵ نقشه فاز تغییرات نمونه با توجه به داده های جدول ۳.۵ ۱۰۱
- شکل ۳۰.۵ نمایه تغییرات سطح با توجه به نقشه فاز شکل ۲۹.۵ ۱۰۲
- شکل ۳۱.۵ نقشه فاز تغییرات نمونه با توجه به داده های جدول ۴.۵ ۱۰۴
- شکل ۳۲.۵ نمایه تغییرات سطح با توجه به نقشه فاز شکل ۳۱.۵ ۱۰۴

فصل اول

آزمون های غیر مخرب^۱

جایگاه بی بدیل اندازه گیری و آزمودن^۲ در دنیای امروز قابل انکار نیست. واژه اندازه گیری محدوده وسیعی از فناوری را شامل می شود و بررسی جامع آن در یک مجموعه قابل اجرا نبوده و در اینجا نیز به دنبال چنین هدفی نیستیم. اندازه گیری یا آزمودن به طرق وسیعی قابل اجرا است که در برخی موارد، علاوه بر تحمل هزینه های سنگین اندازه گیری مجبور به تحمل هزینه از دست دادن نمونه تحت بررسی نیز خواهیم بود. در روش آزمون های غیر مخرب هدف، اندازه گیری و آزمودن نمونه تحت بررسی به روشی است که وضعیت ماکروسکوپی نمونه در قبل و بعد از اندازه گیری تغییری نکرده باشد. به عبارتی نمونه پس از بازرسی همچنان قابل استفاده باشد. از این مختصر واضح است که اندازه گیری و آزمودن غیر مخرب در میان دیگر روش های اندازه گیری، از جایگاه بالایی برخوردار است. محبوبیت این روش ها از منظر اقتصادی نیاز به توجیه ندارد. در این فصل با توجه به اهمیت این روش ها آزمون های غیر مخرب اجمالاً معرفی شده اند و در نهایت آزمون های غیر مخرب و غیر تماسی اپتیکی مورد بررسی قرار گرفته اند.

^۱Non- Destructive Tests

^۲Testing and Evaluation

۱.۱) ضرورت بازرسی

معمولاً ارزیابی خواص کششی، فشاری، برشی و ضربه ای نمونه های مورد آزمون از روی نمونه های مخصوصی که از این ماده تهیه شده اند بدست می آید. اما غالب این آزمایشها ماهیت تخریبی^۱ دارند. بدین معنی که نمونه تحت آزمون قابلیت استفاده را از دست می دهد. لذا چنین آزمایش هایی مقرون به صرفه نیستند. گذشته از این، آزمایش هایی که در حد تخریب نمونه نتایج را آشکار می کنند لزوماً راهنمای روشنی در مورد مشخصات قطعه تحت بررسی در شرایط کاری واقعی نیستند.

در فرآیند تولید امکان دارد که انواع عیوب با اندازه های مختلف در ماده یا قطعه بوجود آیند. این معایب می توانند روی عملیات بعدی قطعه تاثیر گذار باشند. در حین عملیات مونتاژ و کاربری نیز عیوبی ممکن است بر روی نمونه رخ دهد. در جدول ۱.۱ خلاصه ای از این عیوب و منشاء آنها ذکر شده است. [1]

عیب هایی که ممکن است طی ساخت مواد خام یا تولید قطعات ریختگی بوجود آیند				
مغزه بندی	ناخالصی های سرباره	حفره های گازی	حفره های انقباضی	ترک های تنش
عیب هایی که ممکن است طی تولید قطعات بوجود آیند				
ترک های ناشی از تنش های پس ماند	معایب جوشکاری	عیوب عملیات حرارتی	عیوب ماشین کاری	
عیب هایی که ممکن است طی مونتاژ قطعات بوجود آیند				
ترک های تنش اضافی	عیوب جوشکاری اضافی	مونتاژ نادرست قطعات	گم شدن قطعات	
عیب هایی که در مدت کاربری بوجود می آید				
ناپایداری حرارتی	سایش	خوردگی تنش	خوردگی خستگی	

جدول ۱.۱ منشاء بعضی از عیوبی که در مواد و قطعات یافت می شود

در دستگاه های حساس، رخداد هر کدام از این عیوب مختصر می تواند منجر به رخداد شکست های پرهزینه در روند تولید گردد. به عنوان مثال طراحی و ساخت یک ماهواره فرآیندی پرهزینه و وقت گیر است. همچنین به دلیل تولید قطعات مربوطه در تعداد پایین و حساس بودن قطعات به کار رفته در ساخت ماهواره، مورد بررسی قراردادن قطعات به طریقه مخرب عقلایی جلوه نخواهد کرد. بنابر این جایگاه آزمون های غیر مخرب در این عرصه بی بدیل است.

^۱Destructive Test

اغلب اولین مرحله در آزمایش یک قطعه بازرسی چشمی است. بازرسی با چشم غیر مسلح فقط عیب های نسبتاً بزرگی را که تا سطح قطعه امتداد می یابد را نمایان خواهد کرد. با به کار بردن یک میکروسکوپ می توان کارآیی بازرسی چشمی را گسترش داد. محدوده موثر بازرسی چشمی محدود به نقاط قابل رویت اپتیکی است. برای بررسی عمیق تر و دقیق تر نمونه ها با به کار گیری برخی از اصول بسیار معروف فیزیکی تعدادی سیستم بازرسی غیر چشمی ابداع شده است که می توانند اطلاعات مفیدی از نمونه تحت آزمون فراهم آورند در حالی که هیچ تغییر یا آسیبی به نمونه وارد نشود.

اصول و خصوصیات اساسی چند روش متداول آزمون غیر مخرب در جدول ۲.۱ آورده شده است: [1]

روش	کاربرد	ضعایف ومحدودیت ها
آزمون اپتیکی	در مواد شفاف و پراکنده کننده ^۲ نور با دقت اندازه گیری در حد طول موج پرتو کاربرد دارد. اندازه گیری شکستگیهای زیر سطحی میسر است.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ نمونه حتما تحت بار^۱ باید باشد . ✓ حساس به لرزش های محیط است. ✓ حساس به چیدمان اپتیکی است. ✓ عیوب عمقی نیاز به اعمال بار بیشتر برای آشکار سازی دارند.
آزمون الکترومغناطیس	در فلزات، آلیاژها و مواد هادی الکتریسیته قابل استفاده است. عیوب سطحی و نزدیک به سطح با این روش قابل تشخیص می باشند. قابل استفاده برای لوله، قطعات هواپیما، پره های توربین.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ نیاز به حسگرهای متفاوت برای کاربردهای مختلف وجود دارد. ✓ حسگر باید در مجاورت قطعه در فاصله بسیار نزدیک از آن قرار گیرد. ✓ نفوذ کم (معمولاً حدود ۵ میلی متر)
آزمون مایعات نافذ	در بررسی لحیم کاری، مواد ریخته گری شده، مواد آهنگری شده، قطعات آلومینیومی، دیسک و پره های توربین و چرخ دنده کاربرد دارد.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ شکستگی حتما باید سطحی باشد ✓ نیاز به تمیزکاری وجود دارد. ✓ نامناسب برای ترک های عمیق و عیوب کم عمق . ✓ عمق عیب قابل اندازه گیری نیست.

^۱ Load

^۲ Scatterer

<ul style="list-style-type: none"> ✓ تشخیص عیوب تحت تأثیر عواملی مانند شدت میدان و جهت آن هستند. ✓ نیاز به تمیزکاری وجود دارد. ✓ قبل از آزمون نمونه باید مغناطیده شود. ✓ عمق عیوب را نمی توان اندازه گرفت. 	<p>در مواد مغناطیسی عیوب سطحی و عیوب نزدیک به سطح با این روش قابل تشخیص می باشند.</p> <p>قابل استفاده برای جوش، موادیخته گری، قطعات موتور، محورها و دنده ها می باشد.</p>	<p>آزمون ذرات مغناطیسی</p>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ عموماً تماسی است، گاهی بصورت مستقیم و گاه بواسطه محیط واسط. ✓ نیاز به حسگرهای متفاوت برای کاربردهای مختلف وجود دارد. ✓ حساسیت تابعی از فرکانس مورد استفاده است. ✓ نسبت سیگنال به نوفه^۱ پائین است. ✓ اعمال این روش برای قطعات بسیار نازک دشوار است. 	<p>قابل استفاده برای مواد فلزی و غیر فلزی و کامپوزیت ها است.</p> <p>عیوب سطحی و غیر سطحی قابل بررسی است.</p> <p>قابل استفاده برای جوش، قطعات موتور و هواپیما، اجزای ساختمانی، بتن، تشخیص عیوب مخازن تحت فشار و لوله های انتقال نفت و گاز نیز می باشد.</p>	<p>آزمون فراصوت</p>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ باید به هر دو وجه قطعه دسترسی داشت. ✓ نتایج آزمون تا حد زیادی وابسته به تعیین فاصله کانونی، ولتاژ و زمان قرارگیری در معرض تشعشع است. ✓ ترک ها باید به موازات اشعه ها قرار گیرند. ✓ کاهش حساسیت با افزایش ضخامت قطعه وجود دارد. 	<p>در بررسی مواد فلزی و غیر فلزی، کامپوزیت ها، ریخته گری، جوش، قطعات الکترونیکی، صنایع هوایی، دریایی و خودروسازی کاربرد دارد.</p> <p>برای تمامی اشکال و فرمها به کار می رود.</p>	<p>آزمون رادیوگرافی اشعه ایکس</p>

جدول ۲.۱ روش های متداول آزمون های غیر مخرب، موارد استعمال و ضعیف آن ها

روش های مذکور رابطه نزدیکی با یکدیگر دارند و با توجه به موارد کاربرد ممکن است به تنهایی و یا همراه با یکدیگر مورد استفاده قرار گیرند. بین این آزمون ها و نتایج حاصل از آنها وجوه مشترکی موجود است اما در حقیقت این آزمونها مکمل یکدیگر هستند. انتخاب بهترین روش بیشتر به نوع عیب موجود، شکل و اندازه نمونه

^۱Noise

مورد بررسی، ابعاد و مکان عیب بستگی دارد. لذا شناخت کلی از نمونه مورد بررسی کمک بالایی به آزمون کننده خواهد کرد.

۲.۱) انواع سیستم بازرسی

روش های مختلف آزمون های غیر مخرب عملاً می توانند به طرق بسیار متفاوتی مورد استفاده قرار گیرند. محدوده ابزار آلات در دسترس نیز بسیار وسیع است. گاه سیستم ها بصورت آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می گیرند، گاه سیستم ها کوچک و قابل حمل بوده و برای بازرسی نمونه در داخل و خارج از آزمایشگاه بکار می روند. همچنین می توان اصول اساسی یک آزمون را در منطقه بازرسی خط تولید انبوه قرار داد.

۳.۱) کیفیت بازرسی

هنگامی که از سیستم های آزمون های غیر مخرب استفاده می شود باید با دقت کافی مراحل را کنترل کرد بطوریکه اطلاعات کیفی و کمی زاید حاصل نشود. اگر آزمون های غیر مخرب بطور نادرست به کار گرفته شوند، می توانند منجر به رخداد خطاهای جدی در ارزیابی کیفیت قطعه مورد آزمایش شوند. لذا ضروریست که امکان فاحش ترین عیوب یک قطعه قبلاً پیش بینی شود و تحلیل نتایج بر اساس این پیش فرض ها انجام گردد. بنابر این راهنمایی های طراح مسئول همواره می تواند مانع رخ دادن اندازه گیری های زائد گردد. روش ها و سیستم های آزمون غیر مخرب زمانی نتیجه بخش و موثر خواهند بود که متناسب با قطعات مورد آزمایش و معایب مربوطه باشد. همچنین کاربر باید دارای تجربه و آموزش های کافی باشد. اگر هر یک از این پیش نیازها رعایت نشود خطاهای بالقوه در عیب یابی و مشخصه یابی بوجود می آید. این مسئله در مورد آشکار سازی معایبی که در آن ها استاندارد نامناسب اندازه گیری مد نظر قرار داده می شود، ممکن است موجب شود که معایب کم اثر یا بی اثر بر روی عملکرد محصول جدی تلقی شود ولی عیوب قابل توجه ناچیز انگاشته گردد.

۴.۱) اعتبار عیب یابی

اعتبار هر تکنیک آزمون غیر مخرب سنجشی از کارایی آن تکنیک در رابطه با آشکار سازی نوع و اندازه ی بخصوص عیوب است. باید همواره این واقعیت را در نظر داشت که بازرسی های غیر مخرب برای اغلب قطعات بوسیله انسان انجام می گیرد و اصولاً دو نفر همیشه نمی توانند یک کار تکراری مشابه را دقیقاً همانند یکدیگر انجام دهند. این بیان ناقص اعتبار آزمون های غیر مخرب نیست اما همواره باید ضریب عدم یقین در برآورد اعتبار بازرسی بحساب آورده شود و ارزش تصمیم های مربوط به رد یا قبول کیفیت قطعه باید از روی داده های آماری تخمین زده شود. البته در شیوه های نوین آزمون غیر مخرب با حضور کامپیوتر تکرار پذیری آزمایش به حد قابل قبولی از اطمینان رسیده است. اما باز شیوه استفاده کاربرهای متفاوت از سخت افزار و نرم افزار مربوطه می تواند در تطبیق نتایج با یکدیگر تردید ایجاد کند.

در هر برنامه خاص بازرسی، تعداد زیادی از تشخیص های عیوب با تعداد واقعی آنها ممکن است تطابق نداشته باشد. اما هنگامی که بررسی قطعات بسیار مهم مد نظر هستند سعی بر این می شود تا حتی الامکان عیب های بیشتری شناسایی شوند و تمایل به قبول تمام نشانه های وجود عیب زیاد است. زیرا اگر قطعه ای در حین بازرسی مردود و غیر قابل مصرف معرفی شود بهتر از آن است که هنگام استفاده منجر به شکست فاجعه آمیز شود.

۵.۱) فواید آزمون های غیر مخرب

یکی از فواید بدیهی و روشن بکار بردن صحیح آزمون های غیر مخرب، شناسایی معایبی است که اگر بدون تشخیص در قطعه باقی بمانند موجب شکست فاجعه آمیز قطعه و در نتیجه بروز خسارت های مالی و جانی فراوان خواهند شد. صرف نظر از این حسن، صرفه جویی در هزینه به دلیل اینکه قطعه پس از آزمون قابلیت ورود به بازار را خواهد داشت نیز بسیار قابل ملاحظه است. همچنین با توجه به قابلیت نصب برخی از این روشها در مسیر خط تولید می توان صرفه جویی بالایی از طریق سیستم های اتوماسیون در وقت داشت. در حالیکه کنترل کیفی می تواند از نظر مالی صرفه جویی قابل ملاحظه ای را در بر داشته باشد و از رخداد حوادث جلوگیری کند ولی این واقعیت را نیز باید گفت که تحمیل سیستم های بازرسی بسیار زیاد و یا خیلی حساس از نظر مالی پرهزینه و موجب اتلاف وقت خواهند بود. افراط در بازرسی ممکن است منجر به افزایش اعتبار و کارکرد محصول نشود. رسیدن به تولید قطعات بی عیب و نقص عملاً امکان پذیر نیست و تلاش برای نیل به حد ایده آل می تواند بسیار پرهزینه باشد.

۶.۱) روشهای اپتیکی در آزمون های غیرمخرب

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی، ورود اپتیک به عنوان ابزاری قدرتمند و چاره ساز در بسیاری از زمینه ها قابل پیش بینی بود. روش آزمون های غیرمخرب نیز از این بهره بی نصیب نبوده است. ورود انواع منابع نوری همدوس و غیرهمدوس برای انجام فرایندهای تداخل سنجی و اندازه گیری یکی از کاربردهای اپتیک در این زمینه است. همچنین تلفیق روشهای داده گیری با ادوات دیجیتال و همچنین پردازش داده ها توسط رایانه بر دقت و سرعت این روشها افزوده است.

اگر بخواهیم از حیث منبع نوری آزمون های غیرمخرب را بررسی کنیم می توان به دو تقسیم بندی زیر رسید:

- اندازه گیری با منبع نور همدوس

- اندازه گیری با منبع نور ناهمدوس

در مبحث اندازه گیری با منبع نور ناهمدوس می توان به روشهایی چون تداخل سنجی با نور سفید^۱[2] و یا

^۱White Light Interferometry

عکس برداری اسپکلی^۱ [3] اشاره کرد.

در کنار این روش ها، اندازه گیری با کمک منبع نور همدوس نیز مورد استفاده قرار می گیرد. در این بین، لیزر به عنوان منبع نوری با طول همدوسی بالا، درخشندگی بالا و قابل تنظیم و واگرایی کم و همچنین دارا بودن طول پالس متفاوت به عنوان ابزار بسیار مساعدی برای مقاصد اندازه گیری غیرمخرب به کار می رود. شاید اولین ایده ای که در زمینه آزمون غیرمخرب لیزری به ذهن هر فرد آشنا با فیزیک برسد، تداخل سنج مایکلسون^۲ است. علاوه بر این روش کاربردهایی چون تعیین توپوگرافی سطح، اندازه گیری ضخامت لایه، اندازه گیری ابعاد نمونه، اندازه گیری سرعت نمونه و... نیز از کاربردهای متداول امروزی لیزر در امر آزمون های غیرمخرب است. یکی از کاربردهای لیزر در زمینه اندازه گیری غیر مخرب، اندازه گیری و تحلیل میزان جابجایی دینامیک و استاتیک بار اعمالی به نمونه است که بیشتر به آن خواهیم پرداخت.

۷.۱ روشهای غیرمخرب لیزری در اندازه گیری

با توجه به نیازهای متعارف آزمون غیرمخرب می توان از لیزرهای پیوسته با توان پائین و یا از لیزرهای پالسی با طول پالس بلند به عنوان ابزار آزمون غیرمخرب بهره برد. روشهای متفاوتی برای انجام اندازه گیری های مختلف ابداع شده اند. به عنوان چند نمونه از روشهای لیزری غیرمخرب می توان اشاره برد به:

- تداخل سنجی هولوگرافی^۳

- عکس برداری اسپکلی

- تداخل سنجی اسپکلی^۴

- شیارسنجی دیجیتالی^۵

- تداخل سنجی ماره^۶

بدلیل دقت بالا و قابل اعتماد بودن روشهای آزمون غیرمخرب لیزری، پس از گذشت چندین سال از ابداع هر کدام از روش های فوق، همچنان استفاده از این روش ها در مراکز تحقیقاتی و صنعتی در دستور کار قرار دارد. به عنوان نمونه در پروژه^۷ LHC در مرکز سرن^۱ [4] برای اندازه گیری برخی پارامترها از روش تداخل سنجی

^۱ Speckle Photography

^۲ Michelson Interferometer

^۳ Holographic Interferometry

^۴ Speckle Interferometry

^۵ Speckle Sherography

^۶ Moi're Interfeometry

^۷ Large Hadron Collider

اسپکلی بهره برده شد.
روشهای بیان شده در بالا از حیث دقت، سرعت و آسانی در بکارگیری با هم متفاوت هستند.
در اینجا روش تداخل سنجی اسپکلی را با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار خواهیم داد.