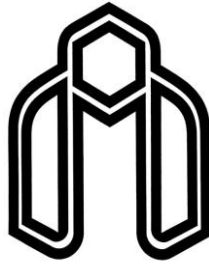


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده فیزیک

رشته فیزیک گرایش هسته‌ای

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی اثر تابش‌های بتا و گاما بر تشکیل نانوساختارهای اکسید فلزی مس و روی

نگارنده: فرشید غلامیان

اساتید راهنما

دکتر مسلم سوهانی

دکتر حمید هراتی زاده

شهریور ۱۳۹۵

شماره: ۴,۹۴۰۰
تاریخ: ۹۵, ۷, ۲۴
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

پیوست شماره ۲

دانشکده: فیزیک

گروه: فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای فرشید غلامیان به شماره دانشجویی: ۹۳۱۲۷۶۴

تحت عنوان:

اندازه گیری دز جذب شده در سطح مواد کربن، سلیسیوم و مس با استفاده از مواد رادیو اکتیو

در تاریخ ۹۵/۶/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته‌ای مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: دکتر مسلم سوهانی
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: دکتر حمید هراتی زاده

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: دکتر مصطفی عنایستانی		نام و نام خانوادگی: دکتر سعید حسامی پیلورود
			نام و نام خانوادگی: دکتر احسان ابراهیمی بسایی

تقدیم به:

پدر عزیزم:

او که هرچه داشت به پام ریخت و هرچه آرزو کردم برایم خواست. او که تمام آرزوهای من تجسم دیروزهای از دست رفته اش است و تمام لبخندهای امروزم را به بهانه‌ی سیاهی موهایش و طراوت زندگیش برایم به ارمغان آورده است.

مادر عزیزم:

آرام جانم و مهربان تر از من به من، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایم همه مهر، او که دنیایش های دیروزش امروز مرا از خدا خواست و او که گذشت از هر آنچه نمی توان گذشت.

بردستان پر مهرتان بوسه می زنم، هرچه دارم از شماست. باشد که فرزندی شایسته برایتان باشم و نیکو پاس زحمتان را به جای آورم.

تعهد نامه

اینجانب فرشید غلامیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته ای دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی اثر تابش‌های بتا و گاما بر تشکیل نانوساختارهای اکسید فلزی مس و روی تحت راهنمایی دکتر مسلم سوهانی و دکتر حمید هراتی زاده متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته با استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۹۵/۶/۱۵
امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در چند دهه‌ی گذشته، پیشرفت‌های علوم و مهندسی با سرعت خیلی زیاد، به سمت تهیه‌ی موادی حرکت کرده است که به دلیل ویژگی‌های متفاوتی که دارند، مورد توجه هستند. مواد با ساختار نانو شامل دسته‌ی گسترده‌ای از مواد به شکل ورقه‌های نازک، پوشش‌ها، پودرها یا مواد حجیم در ابعاد نانو می‌باشند. چون اندازه‌ی بافت کاهش یافته است، سطوح مشترک و مرزهای بافت افزایش قابل توجهی می‌یابد که به شدت بر خواص شیمیایی و فیزیکی مواد تأثیر می‌گذارد. تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو می‌توانند کاربرد زیادی در تعیین ویژگی مواد داشته باشند. معمولاً تابش‌دهی جامدات با ذرات پرانرژی بی‌نظمی‌هایی را در آن‌ها ایجاد می‌کند. اما مطالعات اخیر تابش‌دهی نشان می‌دهد که تابش نقش تعیین کننده‌ای در مهندسی مواد نانو نیز دارند. اثرات تابش می‌تواند راهی برای تغییر ساختار مواد باشد. در این بررسی، گام نخست، محاسبه‌ی مقدار دز جذب شده بر روی سطح مواد با استفاده از کد شبیه‌سازی Geant4 است. با آگاهی از این دز می‌توان تغییرات به وجود آمده در ساختار را پیش بینی و خواص ماده را تغییر داد. در گام بعدی، رشد نانوساختارها با استفاده از تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو بررسی شد. برای این منظور نمونه‌های مس مورد استفاده قرار گرفت. چشمه‌ی مورد استفاده در آزمایش چشمه‌ی ^{137}Cs بود. بعد از آزمایش، از نمونه‌ها، تصاویر SEM گرفته شد و از تغییرات مورفولوژی، اثرات تابش بر روی سطح مواد مشخص شد.

کلمات کلیدی: دز جذب شده، اثرات تابش، رشد مواد نانوساختار

فهرست مقالات مستخرج

غلامیان، فرشید و سوهانی، مسلم؛ اندازه گیری دز جذب شده در سطح مواد کربن، سلیسیوم و مس با استفاده از مواد رادیواکتیو، همایش علمی پژوهشی افق‌های نوین علوم فیزیک و فناوری نانو در ایران،

۱۳۹۵

فهرست

- چکیده و
- فهرست مقالات مستخرج ز
- فهرست ح
- فهرست شکل‌ها و جدول‌ها ک
- فصل اول مقدمه ۱
- ۱-۱ تاریخچه ۲
- ۲-۱ برهم‌کنش‌های تابش با ماده ۳
- ۱-۲-۱ برهم‌کنش کولنی ۴
- ۲-۲-۱ گسیل تابش ترمزی ۴
- ۳-۲-۱ برهم‌کنش فوتون‌ها با ماده ۵
- ۴-۲-۱ برهم‌کنش‌های نوترون با ماده ۵
- ۳-۱ اثرات دما بر رشد نانوساختارهای اکسید مس ۶
- ۴-۱ اهداف ۶
- فصل دوم اثرات تابش ۹
- ۱-۲ مقدمه ۱۰
- ۲-۲ اثرات تابش بر جامدات ۱۰
- ۳-۲ اثرات برانگیختگی و یونش ۱۱

۱۲	۴-۲ اثرات جابه‌جایی
۱۴	۱-۴-۲ کندوپاش
۱۵	۵-۲ اثر تابش بر نانو مواد
۱۶	۶-۲ نقص‌های نقطه‌ای و تغییر در ویژگی‌های فیزیکی
۱۶	۱-۶-۲ ویژگی‌های الکتریکی
۱۷	۲-۶-۲ انرژی ذخیره شده
۱۹	فصل سوم روش‌های تهیه‌ی نانوساختارها
۲۰	۱-۳ مقدمه
۲۰	۲-۳ نانوساختارهای مس
۲۱	۳-۳ روش‌های تهیه نانوساختارها
۲۳	۴-۳ رسوب شیمیایی بخار (CVD)
۲۴	۱-۴-۳ اساس روش CVD
۲۵	۵-۳ رسوب فیزیکی بخار
۲۶	۶-۳ روش‌های آنالیز میکروسکوپی
۲۶	۱-۶-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۲۷	۲-۶-۳ اجزای SEM
۲۸	۳-۶-۳ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۲۹	۴-۶-۳ بخش‌های مهم TEM

فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی با Geant4	۳۱
۱-۴ کد شبیه‌سازی Geant4	۳۲
۲-۴ شبیه‌سازی هندسه و چشمه‌ی رادیواکتیو	۳۵
۳-۴ واپاشی رادیواکتیو	۳۹
۴-۴ محاسبه‌ی دز جذب شده در اهداف کربن، سیلیکون و مس	۴۳
۵-۴ اندازه‌گیری اکتیویته	۵۷
۱-۵-۴ توزیع فضایی	۵۷
۲-۵-۴ بازدهی قله در آشکارساز	۵۸
فصل پنجم آزمایش و نتایج مربوط به تهیه‌ی نانوساختارها	۶۱
۱-۵ آماده‌سازی نمونه	۶۲
۲-۵ شرح آزمایش	۶۲
۳-۵ تحلیل نمونه‌ها	۶۵
۴-۵ نتیجه‌گیری	۷۷
فصل ششم نتایج و پیشنهادات	۷۹
۱-۶ نتایج	۸۰
۲-۶ پیشنهادات	۸۰
مراجع	۸۱

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

- شکل ۱-۱: ساعد پیر کوری بعد از گذاشتن رادیوم [۴] ۳
- شکل ۱-۱: تصویر SEM نانو سیم‌های اکسید مس با استفاده از حرارت 500°C [۷] ۶
- شکل ۱-۲: یک تهی‌جا و یک اتم درون شبکه‌ای در یک فلز ۱۲
- شکل ۲-۲: نمونه‌ای از تعداد زیادی از برخورد توسط یک یون پرنرژی ۱۳
- شکل ۱-۳: مقایسه‌ی روش بالا به پایین و روش پایین به بالا ۲۱
- شکل ۲-۳: روش‌های مختلف بکار گرفته شده برای تهیه‌ی نانومواد اکسید فلزی [۲۶] ۲۲
- شکل ۳-۳: طرح کلی یک فرآیند CVD [۲۸] ۲۵
- شکل ۴-۳: میکروسکوپ الکترونی روبشی ۲۷
- شکل ۵-۳: قسمت‌های مختلف SEM ۲۸
- شکل ۶-۳: نمایی از دستگاه TEM و قسمت‌های تشکیل دهنده‌ی آن ۲۹
- شکل ۱-۴: نمایی از یک آشکارساز ذرات با انرژی بالا را که با استفاده از Geant4 شبیه‌سازی شده
است [۳۰] ۳۴
- شکل ۲-۴: نمایی از جهان و هدف در حال دریافت دز ۳۸
- شکل ۳-۴: (الف) واپاشی ^{60}Co به ترازهای ^{60}Ni (ب) واپاشی ^{137}Cs به ترازهای ^{137}Ba ۴۱
- شکل ۴-۴: واپاشی ^{192}Ir به ترازهای برانگیخته ^{192}Pt و ^{192}Os ۴۲
- شکل ۵-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح کربن (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از
بتا با استفاده از ^{60}Co ۴۴
- شکل ۶-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح کربن (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از
بتا با استفاده از ^{137}Cs ۴۵

- شکل ۷-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح کربن (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از
 ۴۶ ^{192}Ir بتا با استفاده از
- شکل ۸-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح سیلیسیوم (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی
 از بتا با استفاده از ^{60}Co ۴۷
- شکل ۹-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح سیلیسیوم (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی
 از بتا با استفاده از ^{137}Cs ۴۸
- شکل ۱۰-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح سیلیسیوم (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز
 ناشی از بتا با استفاده از ^{192}Ir ۴۹
- شکل ۱۱-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح مس (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از
 بتا با استفاده از ^{60}Co ۵۰
- شکل ۱۲-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح مس (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از
 بتا با استفاده از ^{137}Cs ۵۱
- شکل ۱۳-۴: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح مس (ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از
 بتا با استفاده از ^{192}Ir ۵۲
- شکل ۱۴-۴: مقدار کل دز جذب شده در مرکز نمونه‌های تابش دیده شده با چشمه‌های ^{60}Co و ^{137}Cs
 و ^{192}Ir به ترتیب عدد اتمی ۵۳
- شکل ۱۵-۴: ضریب پس پراکندگی بر حسب عدد اتمی [۳۲] ۵۵
- شکل ۱۶-۴: مقدار دز جذب شده در مرکز نمونه‌های کربن، سیلیسیوم و مس توسط تابش‌های گاما و
 بتای حاصل از چشمه رادیواکتیو (الف) ^{60}Co (ب) ^{137}Cs (ج) ^{192}Ir ۵۶
- شکل ۱۷-۴: زاویه‌ی فضایی آشکارساز استوانه‌ای برای چشمه‌ی نقطه‌ای که در فاصله d قرار گرفته
 است ۵۸

- شکل ۴-۱۸: اطلاعات آشکارساز CsI(Tl) مورد استفاده در دانشگاه صنعتی شاهرود ۵۹
- شکل ۴-۱۹: نمایی از شبیه سازی آشکارساز با استفاده از کد Geant4 ۵۹
- شکل ۴-۲۰: هیستوگرام انرژی ذخیره شده در بلور CsI با استفاده از چشمه ^{137}Cs ۶۰
- جدول ۵-۱: مشخصات نمونه های گرفته شده ۶۳
- شکل ۵-۱: (الف) نمایی از دستگاه استفاده شده (ب) نحوه ی قرارگیری نمونه ها ۶۴
- شکل ۵-۲: نمایی از دستگاه لایه نشانی استفاده شده ۶۵
- شکل ۵-۳: عکس های نمونه ی کد GH01، نمونه ی پولیش خورده، (الف) دارای بزرگنمایی ۱ kX،
- (ب) دارای بزرگنمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگنمایی ۱۰ kX ۶۷
- شکل ۵-۴: عکس های نمونه ی کد GH02، نمونه ی شاهد چشمه ی نقطه ای در دمای 100°C ، (الف)
- دارای بزرگنمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگنمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگنمایی ۱۰ kX ۶۸
- شکل ۵-۵: عکس های نمونه ی کد GH05، نمونه ی تابش دیده با چشمه ی نقطه ای در دمای اتاق،
- (الف) دارای بزرگنمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگنمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگنمایی ۱۰ kX ۶۹
- شکل ۵-۶: عکس های نمونه ی کد GH07، نمونه ی پولیش خورده، (الف) دارای بزرگنمایی ۱ kX،
- (ب) دارای بزرگنمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگنمایی ۱۰ kX ۷۰
- شکل ۵-۷: عکس های نمونه ی کد GH08، نمونه ی تابش دیده با چشمه ی نقطه ای در دمای 100°C ،
- (الف) دارای بزرگنمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگنمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگنمایی ۱۰ kX ۷۱
- شکل ۵-۸: عکس های نمونه ی کد GH11، نمونه ی شاهد چشمه ی نقطه ای در دمای اتاق، (الف) دارای
- بزرگنمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگنمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگنمایی ۱۰ kX ۷۲
- شکل ۵-۹: عکس های نمونه ی کد GH13، نمونه ی تابش دیده با چشمه ی مسطح در دمای اتاق،
- (الف) دارای بزرگنمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگنمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگنمایی ۱۰ kX ۷۳

شکل ۵-۱۰: عکس‌های نمونه‌ی کد GH15، نمونه‌ی تابش دیده با چشمه‌ی مسطح در دمای 100°C ،

(الف) دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX ۷۴

شکل ۵-۱۱: عکس‌های نمونه‌ی کد GH26، نمونه‌ی شاهد چشمه‌ی مسطح در دمای 100°C ، (الف)

دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX ۷۵

فصل اول

مقدمه

در چند دهه‌ی گذشته، پیشرفت‌های علوم و مهندسی، به سمت تهیه‌ی مواد با ویژگی‌های جدید حرکت کرده است [۱]. یکی از روش‌های تهیه‌ی این مواد، می‌تواند استفاده از مواد رادیواکتیو باشد. این مواد رادیواکتیو با انتقال انرژی به ماده، می‌توانند کاربرد زیادی در تغییر ویژگی‌های ماده داشته باشند. این انتقال انرژی بر پایه‌ی برهم‌کنش بین پرتابه با اتم‌ها و هسته‌های موجود در هدف است.

۱-۱ تاریخچه

استفاده از پرتوها با کشف پرتو ایکس در سال ۱۸۹۵ توسط رونتگن [۲] آغاز شد. در سال ۱۸۹۶ بکرل [۳]، بر روی مواد فسفرسانس تحقیق می‌کرد. او نمونه‌های مختلف را با استفاده از صفحه‌های عکاسی بررسی می‌کرد. زمانی که بر روی خاصیت فسفرسانسی نمک‌های اورانیوم مطالعه می‌کرد، او یک اثر شدید را روی صفحه عکاسی مشاهده کرد. در ابتدا فرض بر این بود که این اثر ناشی از خاصیت فسفرسانسی ماده است، ولی به زودی مشخص شد که سیاه شدن صفحه عکاسی هیچ ارتباطی به این موضوع ندارد. بعدها تعداد زیادی از دانشمندان کار بکرل را ادامه دادند. ماری کوری همان آزمایش را با مواد گوناگون بررسی کرد که در نهایت منجر به کشف رادیوم در سال ۱۸۹۸ شد. در سال ۱۹۰۱ یکی از اولین آزمایش‌های اثرات تابش روی بازوی پیر کوری انجام شد [۴]. شکل ۱-۱ ساعد پیر کوری را بعد از گذاشتن رادیوم برای یک مدت معین، نشان می‌دهد، همانطور که در شکل مشخص است ماده‌ی رادیوم باعث ایجاد زخم بر روی ساعد پیر کوری شده بود. لازم است در اینجا متذکر شویم که این یک اثر فیزیولوژیکی ماده رادیواکتیو است، در حالی که قصد ما بررسی اثرات فیزیولوژیکی مواد رادیواکتیو نیست و فقط مثالی از اثرات تابش بیان شده است.



شکل ۱-۱: ساعد پیر کوری بعد از گذاشتن رادیوم [۴]

۲-۱ برهم کنش های تابش با ماده

واژه‌ی تابش تا حدود ۱۹۰۰ میلادی تنها برای توصیف امواج الکترومغناطیسی به کار می‌رفت. اما با کشف پرتو ایکس و مواد رادیواکتیو طبیعی مفهوم گسترده‌تری به خود گرفت. امروزه تابش تمامی طیف الکترومغناطیسی و نیز تمام ذرات اتمی و زیر اتمی که کشف شده‌اند را شامل می‌شود.

یکی از راه‌های گروه‌بندی انواع مختلف تابش‌ها بر پایه‌ی خاصیت یون‌سازی و غیر یون‌سازی تابش است. تابش‌های یون‌ساز را می‌توان به سه گروه ذرات باردار (الکترون، پوزیترون، پروتون، دوترون، آلفا، و یون‌های سنگین)، فوتون‌ها (پرتوهای گاما و ایکس) و نوترون‌ها تقسیم کرد. تابش‌های غیر یون‌ساز نیز تابش امواج رادیویی، میکروموج‌ها، مرئی و فرابنفش را شامل می‌شود.

ذرات بارداری که از ماده می‌گذرند، بر اثر عوامل زیر انرژی از دست می‌دهند:

۱- برهم‌کنش‌های کولنی

۲- گسیل تابش ترمزی

۳- برهم‌کنش‌های هسته‌ای

۴- گسیل تابش چرنکوف

برای ذرات باردار با انرژی‌های جنبشی کمتر از 10 MeV برهم‌کنش‌های هسته‌ای قابل چشم پوشی است. تابش چرنکوف نیز، تابش الکترومغناطیسی مرئی است که وقتی ذرات باردار در یک ماده با سرعتی بزرگتر از سرعت نور در آن ماده حرکت کنند، گسیل می‌شود. این تابش کسر بسیار کوچکی از انرژی از دست رفته را تشکیل می‌دهد.

۱-۲-۱ برهم‌کنش کولنی

یک ذره‌ی باردار با ورود به یک ماده، می‌تواند با اتم‌ها و هسته‌های هدف، به ترتیب برهم‌کنش کولنی و هسته‌ای انجام دهد. از آنجا که شعاع اتم از مرتبه‌ی انگستروم (10^{-10} m) و شعاع هسته از مرتبه‌ی فرمی (10^{-15} m) است، ذره‌ی باردار ابتدا با اتم برهم‌کنش خواهد کرد و لذا برهم‌کنش کولنی از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود. با انتقال انرژی به الکترون مقید، اتم برانگیخته می‌شود. در این حالت الکترون هنوز مقید است. اگر انرژی بیشتری به الکترون بدهیم تا الکترون بتواند اتم را ترک کند، یونش رخ می‌دهد.

این برخوردها که منجر به یونش یا برانگیختگی می‌شود، برخوردهای ناکشسان نامیده می‌شوند. ذره‌ی بارداری که در داخل ماده در حال حرکت است، همچنین ممکن است برخورد کشسان نیز با هسته‌ها و الکترون‌های اتمی داشته باشد. در این مورد، ذره‌ی فرودی انرژی کوچکی را که برای پایستگی انرژی جنبشی و اندازه حرکت خطی مورد نیاز است، از دست می‌دهد [۵].

۱-۲-۲ گسیل تابش ترمزی

وقتی ذره‌ی باردار (همانند الکترون) با ماده برهم‌کنش می‌کند، بخشی از انرژی خود را با گسیل تابش الکترومغناطیسی از دست می‌دهد. این تابش الکترومغناطیسی، تابش ترمزی^۱ نامیده می‌شود. سهم انرژی الکترون که به تابش ترمزی تبدیل شده است، با افزایش انرژی الکترون و همچنین افزایش

^۱ Bremsstrahlung

عدد اتمی محیط، بزرگتر می‌شود. برای الکترون‌های تک انرژی که به ماده وارد می‌شوند، طیف انرژی تابش ترمزی پیوسته است و شامل فوتون‌هایی با انرژی از صفر تا بیشینه‌ای برابر با انرژی جنبشی الکترون خواهد بود [۵-۶].

۱-۲-۳ برهم‌کنش فوتون‌ها با ماده

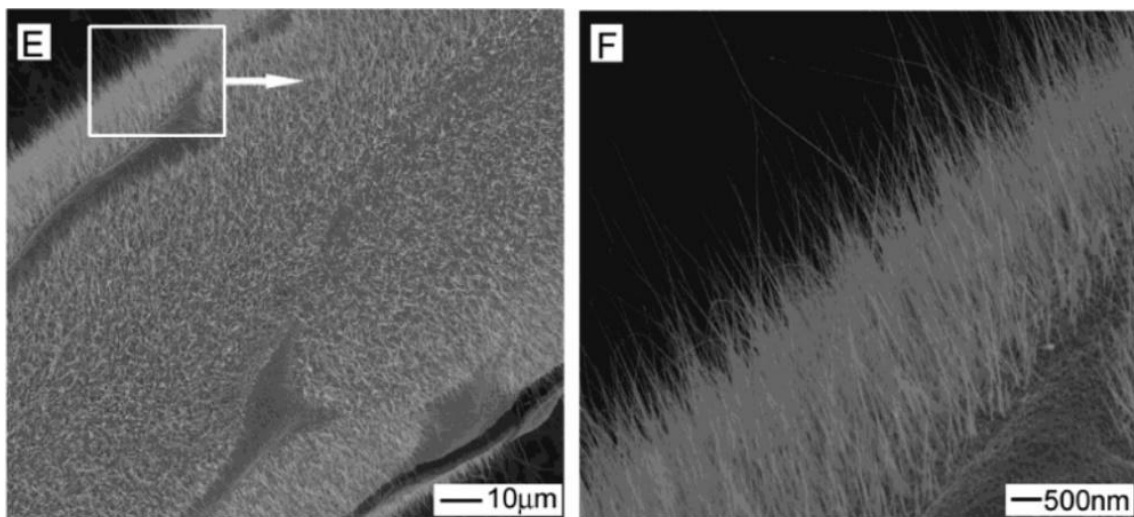
پرتوهای ایکس و گاما، تابش‌های الکترومغناطیسی هستند. این دو پرتو به سه روش، اثر فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و نابودی زوج با ماده برهم‌کنش می‌کنند. اثر فوتوالکتریک، برهم‌کنشی بین یک فوتون و یک الکترون مقید اتمی است. در اثر این برهم‌کنش، فوتون جذب می‌شود و یکی از الکترون‌های اتمی به صورت یک الکترون آزاد به نام فوتو الکترون به بیرون رانده خواهد شد. اثر کامپتون، پراکندگی بین یک فوتون و یک الکترون آزاد است. البته اغلب الکترون‌های موجود در یک محیط مقیدند. از آنجایی که انرژی بستگی الکترون از مرتبه‌ی eV و انرژی فوتون از مرتبه‌ی keV یا بیشتر است، الکترون را می‌توان آزاد فرض کرد. در پراکندگی کامپتون فوتون جذب نمی‌شود و فقط راستای حرکت و انرژی آن تغییر می‌کند. تولید زوج نیز، برهم‌کنشی بین یک فوتون و یک هسته است. بر اثر این برهم‌کنش، فوتون به یک زوج الکترون-پوزیترون تبدیل می‌شود. در تولید زوج حداقل باید انرژی لازم برای تولید دو جرم سکون یعنی $1.022 MeV$ فراهم شود [۵].

۱-۲-۴ برهم‌کنش‌های نوترون با ماده

چون نوترون بدون بار است، تنها از طریق نیروی هسته‌ای با هسته‌ها برهم‌کنش می‌کند. این برهم‌کنش را می‌توان به دو بخش عمده‌ی پراکندگی و جذب تقسیم کرد. در پراکندگی، نوترون با یک هسته برهم‌کنش می‌کند، اما هر دو ذره پس از واکنش دوباره ظاهر می‌شوند. این پراکندگی ممکن است کشسان یا ناکشسان باشد. در جذب نیز، نوترون که با هسته برهم‌کنش می‌کند، ناپدید می‌شود.

۳-۱ اثرات دما بر رشد نانوساختارهای اکسید مس

اکسید مس به شکل نانوذراتی با اندازه‌های مختلف از طریق روش‌های گوناگون می‌تواند تهیه شود. در سال ۱۹۵۰، اکسیدهای سوزن‌گونه مس CuO و Cu_2O تحت زیرلایه در دمای بالا مشاهده شدند. این اکسیدها به طور نسبی دارای طولی کمتر از $5 \mu m$ و قطر 100 nm بودند. در شکل ۱-۱ تصویر SEM یک سیم مسی (با قطر 0.1 mm) را بعد از اینکه در هوای آزاد برای مدت ۴ ساعت به اندازه $500^\circ C$ حرارت دیده است، نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، سطح این سیم به طور کامل با نانوسیم‌های یکنواخت CuO پوشیده شده است. چون سطح مس دارای انحنا است، هر نانوسیم، در جهت عمود بر زیرلایه رشد کرده است [۷].



شکل ۱-۱: تصویر SEM نانو سیم‌های اکسید مس با استفاده از حرارت $500^\circ C$ [۷]

۴-۱ اهداف

در ادامه قصد داریم اثرات تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو را بر رشد نانوساختارهای اکسید فلزی ببینیم. برای رسیدن به این هدف، ابتدا در فصل بعد اثرات تابش را بررسی می‌کنیم. در فصل سوم، روش‌های مختلف تهیه‌ی نانوساختارها را بیان می‌کنیم و یکی از این روش‌ها را بررسی خواهیم کرد. سپس در فصل بعد با استفاده از شبیه‌سازی ابتدا دز جذب شده بر روی سطوح کربن، سیلیسیوم و مس

را محاسبه و سپس نحوه‌ی اندازه‌گیری اکتیویته یک چشمه‌ی رادیواکتیو را بیان می‌کنیم و در نهایت در فصل آخر، سعی در رشد نانوساختارهای اکسید فلزی، با استفاده از تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو خواهیم داشت.

فصل دوم

اثرات تابش

تابش می‌تواند باعث تغییر شدیدی در ویژگی‌های ماده داشته باشد. به ویژه یون‌های سنگین که با تکانه‌ی مناسب باعث جابه‌جایی‌های اتمی در جامدات می‌شوند. ویگنر^۱ اولین فردی بود که به این اثرات توجه کرد [۸]. این اثرات در رشته‌های فیزیک حالت جامد و فناوری راکتور به طور قابل توجهی اهمیت دارند.

اثرات تابش می‌تواند با اتلاف انرژی یک ذره‌ی باردار که در داخل ماده در حرکت است، ایجاد شود. این حوزه توسط بور و همکارانش گسترش زیادی پیدا کرد. کارهای آن‌ها عمدتاً روی حرکت ذرات سریع در گازها بود، اما شمار زیادی از این ویژگی‌ها در جامدات نیز مشاهده می‌شود. مدل‌های کنونی اثرات تابش بر جامدات به وسیله سیتز^۲ توصیف شده است [۹]. تمام زمینه‌های اثرات تابش روی مواد نیز به وسیله اسلاتر^۳ بررسی شده‌اند [۱۰].

۲-۲ اثرات تابش بر جامدات

وقتی یک ذره‌ی پر انرژی همانند الکترون یا یون به اتم‌های یک هدف برخورد می‌کند، رفتارهای مختلفی می‌تواند رخ می‌دهد. اثرات این برخورد عبارتند از:

- ۱- برانگیختگی و یونش اتم‌ها
- ۲- شکستن پیوندها
- ۳- تولید فونون‌های نوسانی
- ۴- جابه‌جایی اتم‌ها در هدف‌های حجیم

۱ Wigner

۲ Seitz

۳ Slater

۵- کندوپاش^۱ اتم‌ها از سطح

۶- گسیل فوتون‌ها، برای مثال پرتوهای ایکس

انرژی پرتابه برای رخ دادن هر یک از پدیده‌های فوق اهمیت ویژه‌ای دارد. موارد فوق را می‌توان به اثرات جابه‌جایی و اثرات برانگیختگی و یونش طبقه بندی کنیم. به طور کلی، با افزایش انرژی ذره، برانگیختگی و یونش اهمیت کمتری نسبت به اثرات جابه‌جایی پیدا خواهد کرد. در نارساناها اثرات برانگیختگی و یونش قابل توجه هستند. در یک رسانای خوب به علت وجود الکترون‌های رسانش، این اثرات خیلی سریع ناپدید می‌شود و اثرات تابش فقط ناشی از اثرات جابه‌جایی خواهند بود. بنابراین فلزات در مقایسه با سایر مواد به ویژه در پرتابه‌هایی با انرژی کم پایدارتر خواهند بود [۹-۱۰-۱۱].

۲-۳ اثرات برانگیختگی و یونش

برانگیختگی‌های اتمی باعث انتقال انرژی‌هایی از مرتبه‌ی eV می‌شوند. حالت‌های برانگیخته می‌تواند باعث ناپایداری پیوندهای اتمی و شکسته شدن پیوندها شود. این پدیده عموماً به عنوان رادیولیز^۲ شناخته می‌شود. این پدیده در نارساناها و به اندازه‌ی کمتر در نیمه‌رساناها قابل توجه است. فلزات در برابر این آسیب مصونیت بیشتری دارند [۱۲].

یونش در نارساناها و نیمه‌رساناها که زمان برانگیختگی اتم به مقداری است که باعث برگشت ناپذیری پیوندهای شکسته شده می‌شود، مهم است. در فلزات، یونش فوراً از بین می‌رود (10^{-15} S)، بی‌نظمی‌های موضعی در بار الکتریکی در این مقیاس زمانی حذف می‌شود.

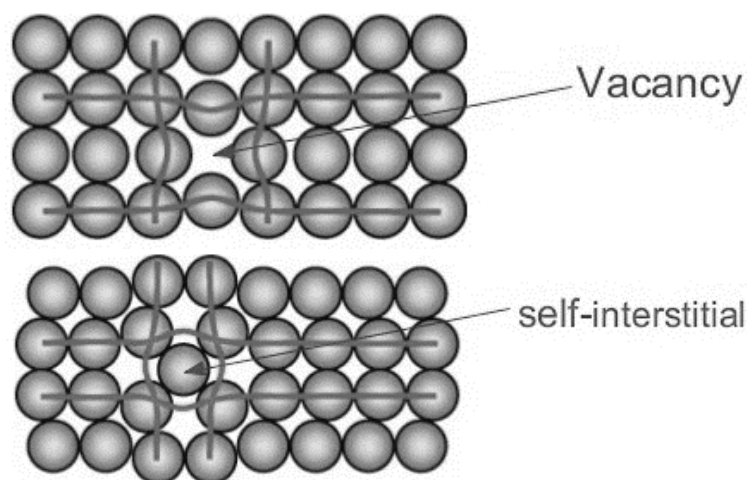
۱ Sputtering

۲ Radiolysis

۲-۴ اثرات جابه‌جایی

وقتی ذره‌ی پرانرژی به اتم یک ماده‌ی جامد برخورد می‌کند، اتم از مکان اصلی خود در داخل شبکه جابه‌جا می‌شوند. نتیجه‌ی این برخورد ایجاد یک جای خالی در شبکه خواهد بود که به آن تهی‌جا^۱ می‌گوییم. این اتم جابه‌جا شده می‌تواند در داخل شبکه متوقف شود که به آن اتم درون‌شبکه‌ای^۲ می‌گویند. یک زوج تهی‌جا و درون‌شبکه‌ای یک زوج فرنکل^۳ نامیده می‌شوند. شکل ۱-۲، یک تهی‌جا و یک اتم درون‌شبکه‌ای را در یک فلز نشان می‌دهد. ذره‌ی برخورد کرده نیز ممکن است در جایی در داخل ماده متوقف شود که به آن نقص میان بافتی می‌گویند.

چون انرژی انتقال یافته از یک ذره به اتم هدف در یک برخورد اغلب بزرگتر از انرژی بستگی آن اتم است، اتم می‌تواند از مکانی که در ساختار جامد دارد، جابه‌جا شود. علاوه بر این، اتم‌هایی که توسط برخورد ذره جابه‌جا شده‌اند، ممکن است انرژی بیشتری را دریافت کنند و بتوانند اتم‌های دیگر را نیز جابه‌جا کنند و آبشاری از برخوردهای اتمی را ایجاد کنند (شکل ۲-۲). این می‌تواند منجر به



شکل ۱-۲: یک تهی‌جا و یک اتم درون‌شبکه‌ای در یک فلز

۱ Vacancy

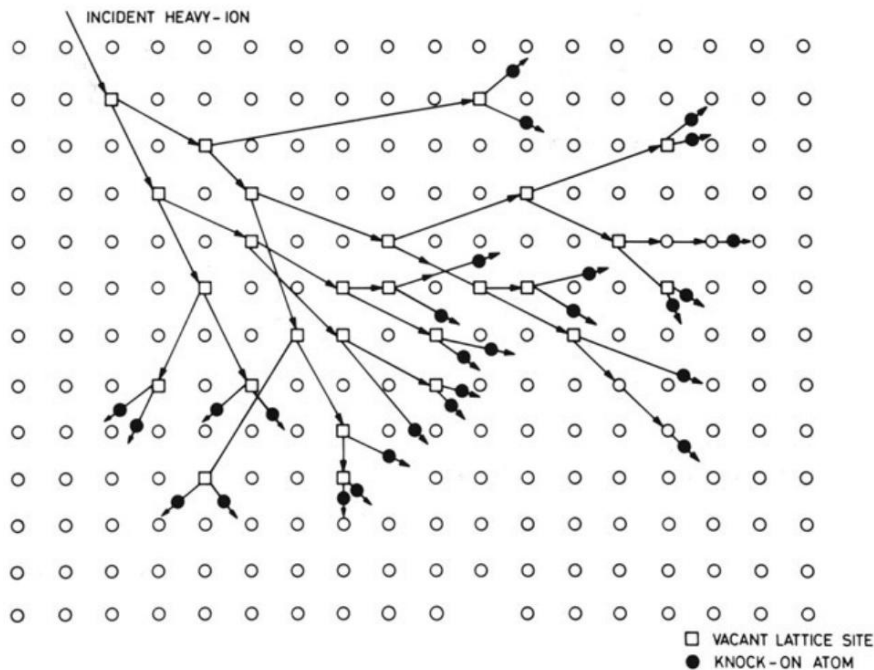
۲ Interstitial

۳ Frenkel pair

تعداد زیادی از تهی‌جاها، اتم‌های درون شبکه‌ای، مخلوط شدن لایه‌ها در اطراف سطوح مشترک، یا بی‌نظمی شبکه در ناحیه‌ی از اطراف مسیر حرکت ذره و غیره شود. در مواد بلوری چون تعداد برخورد ذرات افزایش پیدا می‌کند، مناطق بی‌نظم شده شروع به هم پوشانی می‌کنند. در برخی نقاط، یک لایه‌ی به شدت آسیب دیده تشکیل می‌شود. نوع و مقدار کل بی‌نظمی و همچنین میزان نفوذ بی‌نظمی به درون شبکه، به نوع و انرژی ذره، دز انرژی دریافتی، ماده‌ی هدف و دمای پرتودهی بستگی دارد [۱۳].

رویدادهای جابه‌جایی ایجاد شده در مدت زمان خیلی کوتاهی رخ می‌دهند. مقیاس زمانی در تولید نقص‌های اتمی به صورت زیر است [۱۴]:

- 10^{-21} S: انتقال انرژی از ذره به هسته‌ها (جابه‌جایی‌های اولیه)
- 10^{-13} S: برخوردهای بین اتم‌ها (جابه‌جایی‌های اتمی)
- 10^{-11} S: اتلاف انرژی (نقص‌ها و خوشه‌های پایدار)
- 10^{-11} S³: انتقال گرمایی نقص‌های نقطه‌ای



شکل ۲-۲: نمونه‌ای از تعداد زیادی از برخورد توسط یک یون پراثری

وقتی مقدار زیادی انرژی منتقل شود، این اتم‌ها، آبخاری از جابه‌جایی‌های ثانویه را شروع می‌کنند. تعداد جابه‌جایی‌های ثانویه به ازای هر اتم جابه‌جا شده با رابطه کینچین-پیس^۱ به دست می‌آید [۱۵]:

$$N_d = \frac{0.8(E_p - E_e)}{2E_d} \quad (1-2)$$

که در آن E_p انرژی اتم جابه‌جا شده، E_e انرژی ذره‌ی پراکنده شده در برانگیختگی‌های الکترونی و E_d انرژی جابه‌جایی است. انرژی جابه‌جایی، E_d ، به عنوان انرژی آستانه‌ی لازم برای جابه‌جا کردن اتم در شبکه تعریف می‌شود و به قدرت پیوند، فضای در دسترس برای قرار گرفتن یک اتم درون شبکه‌ای در ساختار، و شکل شبکه بستگی دارد.

در موادی که دارای زیر شبکه‌های چندگانه هستند، E_d باید به طور جداگانه برای هر زیر شبکه اندازه‌گیری شود. اغلب همه اندازه‌گیری‌های E_d رفتار نقص نقطه‌ای خاص را تحت پرتودهی الکترون نشان می‌دهد، یعنی نقص‌های نسبتاً جدا تولید می‌شود.

۲-۴-۱ کندوپاش

وقتی یک سطح اتمی با ذرات پر انرژی بمباران شود یا وقتی آبخارهایی از برخورد بر روی سطح هدف ایجاد شود، اتم‌هایی که انرژی آن‌ها از انرژی بستگی سطح تجاوز کند، از سطح بیرون می‌آیند. این پدیده، کندوپاش نامیده می‌شود. به طور کلی، به علت انتقال انرژی بیشتر، پرتودهی با یون‌ها بیشتر از پرتودهی با الکترون‌ها باعث کندوپاش می‌شود [۱۴-۱۳].

^۱ Kinchin-Pease relation

۲-۵ اثر تابش بر نانو مواد

درک تأثیرات تابش در نانو مواد یک موضوع چالش برانگیز است، چون ممکن است راهی برای طراحی مواد جدید برای سیستم‌های پیشرفته‌ی انرژی هسته‌ای باشد. با افزایش تقاضا برای انرژی و رشد برنامه‌ها در انرژی هسته‌ای، نیاز به توسعه‌ی مواد مقاوم در برابر تابش خواهد بود.

مواد نانوساختار شامل طبقه‌ی گسترده‌ای از مواد به شکل فیلم‌های نازک، پوشش‌ها، پودرها یا مواد حجیم می‌شود. مواد معمولی شامل دانه‌هایی با اندازه‌ای از حدود چند میکرون تا چند میلی‌متر هستند. دانه‌هایی با اندازه‌ی نانو شامل اتم‌های کمتری هستند. چون اندازه‌ی دانه‌ها کمتر شده است، باعث افزایش شدید نسبت سطح دانه به حجم آن‌ها می‌شود، که تأثیر زیادی در خواص فیزیکی و شیمیایی مواد خواهد داشت.

تابش‌دهی مواد با ذرات پر انرژی معمولاً باعث بی‌نظمی در ماده می‌شود. این بی‌نظمی به طور معمول یک پدیده‌ی ناخوشایند به شمار می‌آید، اما مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تابش‌دهی می‌تواند نقش بسیار مهمی در طراحی نانو مواد بازی کند. در این مورد می‌توان به اثرات مفید تابش‌دهی روی مواد نانوساختار کربنی اشاره کرد. ساختار اتمی نانولوله‌های کربن توسط تابش می‌تواند تصحیح شود [۱۶-۱۷-۱۸]. علاوه بر این تابش می‌تواند در تصحیح خواص مکانیکی، الکترونیکی و مغناطیسی نانوساختارهای کربن استفاده شود.

درک اثرات تابش در سطح اتمی و در فصل مشترک‌های نزدیک سطح برای ساختن مواد هسته‌ای پیشرفته که می‌توانند در برابر تابش‌های شدید محیطی در راکتورها، شتاب‌دهنده‌ها و یا پسماندهای ذخیره شده‌ی هسته‌ای در زیر زمین دوام بیاورند، بسیار مهم است [۱۳].

۲-۶ نقص‌های نقطه‌ای و تغییر در ویژگی‌های فیزیکی

از بخش‌های مهم تحقیق در زمینه‌ی اثرات تابش، هم به صورت تجربی و هم به صورت تئوری، تعیین رابطه‌ی بین نقص‌هایی که با تابش شروع می‌شود و تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های فیزیکی است. چنین بررسی‌هایی در فیزیک حالت جامد دارای اهمیت هستند. پرتودهی با ذرات پرنرژی یک شیوه‌ی جدید است که اجازه می‌دهد که تعداد زیادی نقص را با شرایط قابل کنترل به ماده وارد کنیم.

۲-۶-۱ ویژگی‌های الکتریکی

تغییرات در ویژگی‌های الکتریکی تقریباً در هر دمایی به آسانی قابل مشاهده است. بررسی این ویژگی فیزیکی برای مطالعه‌ی اثرات تابش بسیار استفاده شده است. وقتی یک رسانای فلزی خوب تحت تابش ذرات پرنرژی قرار می‌گیرد، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد. در دمای اتاق، معمولاً این افزایش در حدود یک تا دو درصد است. این اندازه‌گیری‌ها برای Cu، Al و Mo گزارش شده است. این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که در ابتدا این افزایش در مقاومت یک مقاومت باقیمانده است. چون تعداد الکترون‌های رسانش در یک رسانای فلزی تغییر نکرده است، افزایش مقاومت الکتریکی را باید به ایجاد نقص‌ها نسبت داد.

هر تغییر بزرگی در مقاومت باقیمانده مشاهده شده است، اگر مواد در دمای پایین تابش‌دهی شوند. افزایش بیشتری در مقاومت الکتریکی سیم‌های مس، Cu، که در دمای $150^{\circ}C$ تابش‌دهی شده‌اند، مشاهده شده است.

در نیمه‌رساناها در مقایسه با فلزات تغییرات بیشتری در مقاومت الکتریکی وجود دارد، چون آن‌ها تعداد کمتری الکترون رسانش دارند. بنابراین، اگر نقص‌ها را بتوان به عنوان یک تله برای حامل جریان در نظر گرفت، در این مواد افزایش خیلی زیادی در مقاومت الکتریکی تحت تابش پیش‌بینی می‌شود [۲۱-۲۰-۱۹].

۲-۶-۲ انرژی ذخیره شده

پرتودهی یک بلور مقدار انرژی داخل شبکه را افزایش می‌دهد. این افزایش در انرژی، انرژی ذخیره شده نامیده می‌شود. در بیشتر موارد این تغییر فیزیکی همراه با تولید نقص خواهد بود. اگر کمترین انرژی لازم برای ایجاد یک نقص به طور تئوری به دست آید و همچنین انرژی کل ذخیره شده در بلور اندازه‌گیری شود، سپس تعداد نقص‌های ایجاد شده در بلور قابل محاسبه خواهد بود. برای سادگی تفسیر، ضروری است که آنتالپی در شروع و پایان یک آزمایش در حالت ترمودینامیک تعریف شده‌ای به خوبی اندازه‌گیری شود.

انرژی ذخیره شده در برخی مواد پرتودهی شده می‌تواند باعث افزایش دما شود. به عنوان مثال، یک نمونه‌ی پرتودهی شده گرافیت به طور ناگهانی در کوره با دمای 200°C قرار گرفت و دمای گرافیت بر حسب زمان مشاهده شد. مشخص شد که گرافیت به سرعت به دمایی بالاتر از دمای کوره صعود می‌کند و سپس به حالت تعادل در دمای 200°C برمی‌گردد. در آزمایش بعدی نمونه تا دمای اتاق سرد شد، و سپس به کوره بازگردانده شد. برای این نمونه، دما به طور یکنواخت صعود می‌کند. از این دو آزمایش می‌توان به اثر انرژی آزاد شده بر دمای نمونه پی برد [۲۲].

فصل سوم

روش های تهیه نانوساختارها

۱-۳ مقدمه

مواد نانو به طور معمول دارای ابعادی بین ۱ تا ۲۵۰ نانومتر می‌باشند. در حالی که مواد معمولی دارای دانه‌هایی با اندازه‌ای از حدود چند میکرون تا چند میلی‌متر هستند. کاهش اندازه‌ی دانه‌ها، باعث افزایش نسبت سطح به حجم آن‌ها می‌شود که به شدت روی خواص شیمیایی و فیزیکی مواد اثر می‌گذارد.

توانایی ساخت و کنترل ساختار نانوذرات به دانشمندان و مهندسان امکان می‌دهد خواص آن‌ها را تغییر داده و بتوانند خواص مطلوب خود را در مواد طراحی کنند. موارد گسترده‌ای وجود دارند که اندازه‌ی فیزیکی ذره می‌تواند خواص بهبود یافته‌ی مفیدی را در آن‌ها به وجود آورد.

۲-۳ نانوساختارهای مس

در این بخش به معرفی بعضی از نانوساختارهای اکسید مس و روش تولید آنها اشاره می‌کنیم. نانوساختارهای اکسید مس به شکل‌های گوناگون می‌تواند تولید شود. نانوکریستال، نانوکره، نانومیله، نانوصفحه، نانوسیم، بعضی از ساختارهای مس است که در ادامه به معرفی روش تولید آنها می‌پردازیم [۲۳].

ساخت نانوکریستال‌های اکسید مس: نانوکریستال‌های اکسید مس تحت آب‌زدایی نانوسیم‌های $Cu(OH)_2$ تحت دمای $180^\circ C$ برای مدت ۱۲ ساعت به دست می‌آیند.

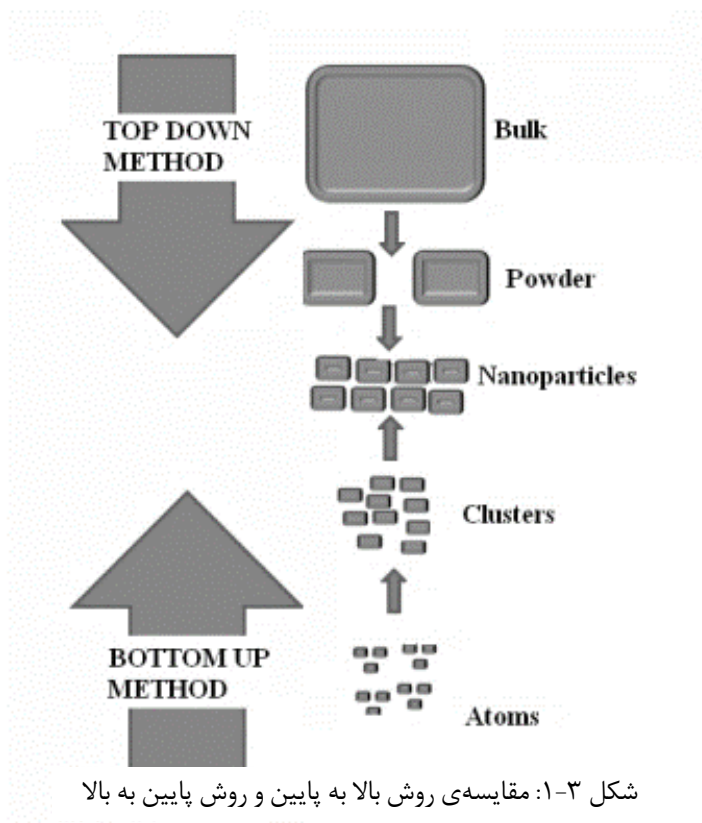
ساخت نانوکره‌های مس: نانوکره‌های مس با تراشیدن NaOH با $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ با نسبت مولی 3:1 برای ۱۰ دقیقه در دمای اتاق تهیه می‌شود.

ساخت نانوسیم‌های مس: همانطور که در فصل اول بیان شد، نانوسیم‌های مس با حرارت دیدن مس به اندازه‌ی $500^\circ C$ برای مدت ۴ ساعت به دست می‌آید.

۳-۳ روش‌های تهیه نانو ساختارها

روش‌های مختلفی برای تهیه نانوذرات در دسترس است که به طور کلی می‌توان آن‌ها را به دو روش بالا به پایین و پایین به بالا طبقه‌بندی کرد. در روش پایین به بالا، از اتم‌ها و مولکول‌ها، نانوذرات ساخته می‌شوند. این روش امکان ایجاد موادی را که ویژگی‌های کاملاً مطلوبی دارند، فراهم می‌کند. در روش بالا به پایین، از مواد حجیم برای ساخت نانوذرات استفاده می‌شود [۲۴]. روش بالا به پایین برای تهیه ذرات یک شکل و اندازه‌های خیلی کوچک مناسب نیست. روش پایین به بالا برای تهیه ذرات یکنواخت، اغلب با اندازه، شکل و ساختار مشخص مناسب‌تر است [۲۵]. در شکل ۱-۳ این دو روش و نحوه رسیدن به ذرات نانو نشان داده شده است.

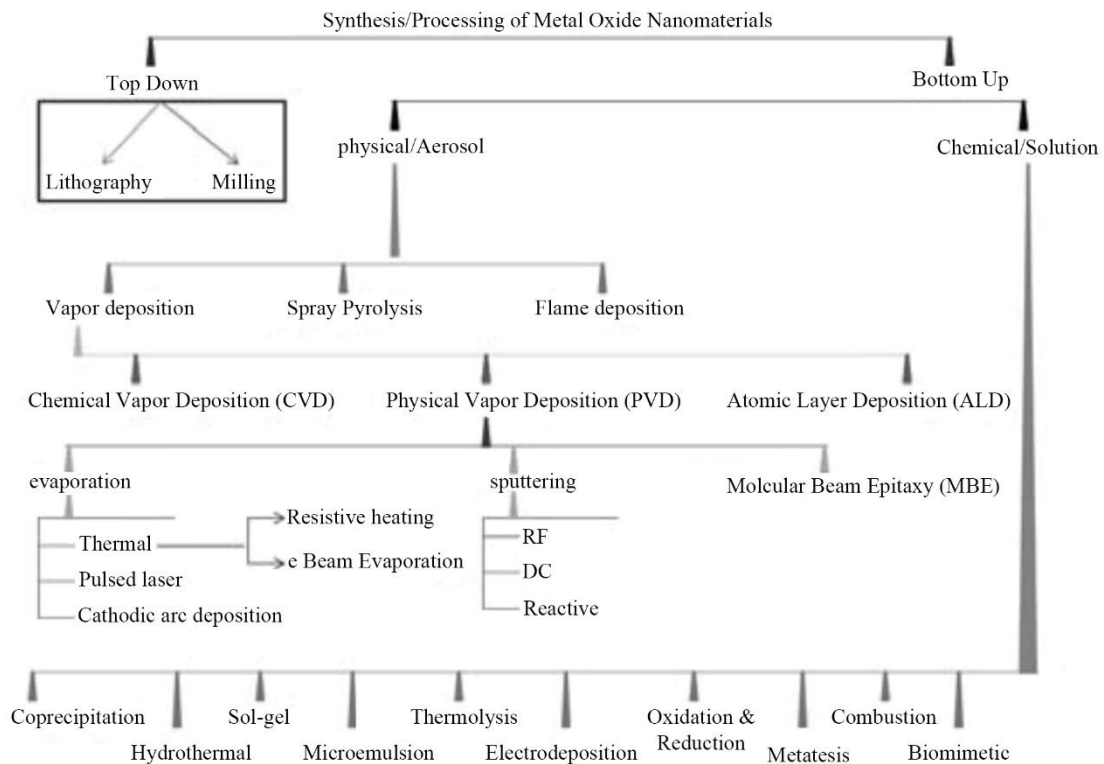
روش پایین به بالا را می‌توان به دو بخش فیزیکی و شیمیایی تقسیم کرد. روش شیمیایی در حالت‌های مختلف جامد، مایع و گاز می‌تواند انجام شود. معمولاً در حالت جامد، پیش ماده در ارتباط با



شکل ۱-۳: مقایسه‌ی روش بالا به پایین و روش پایین به بالا

زیرلایه قرار داده می‌شود و با افزایش دما واکنش تولید می‌شود. نانوذرات اکسید فلزی با روش‌های مختلفی می‌توانند تهیه شوند. در شکل ۳-۲، این روش‌ها تقسیم بندی شده‌اند [۲۶].

تهیه به روش فیزیکی نیز شامل رسوب بخار^۱، تجزیه‌ی لیزری^۲ و رسوب پیش ماده‌ی فلزی^۳ می‌شود. در روش رسوب بخار به طور معمول یک فشار زیاد از یک گاز بی‌اثر مورد نیاز است. پودر فلزی توسط این گاز بی‌اثر به داخل محفظه می‌رود. به طور معمول، سیستم مورد استفاده در این روش، منبع بخار، یک محفظه و یک گاز بی‌اثر است. معمولاً گاز آرگون یا هلیوم به عنوان گاز بی‌اثر مورد استفاده



شکل ۳-۲: روش‌های مختلف بکار گرفته شده برای تهیه‌ی نانومواد اکسید فلزی [۲۶]

۱ vapor deposition

۲ spray pyrolysis

۳ flame deposition

قرار می‌گیرند. برای تهیه‌ی اکسید فلزی گاز اکسیژن با گاز بی اثر مخلوط می‌شود. رسوب بخار، می‌تواند رسوب شیمیایی بخار^۱ یا رسوب فیزیکی بخار^۲ باشد.

۳-۴ رسوب شیمیایی بخار (CVD)

امروزه روش CVD یکی از رایج‌ترین روش‌های پایین به بالا است. این روش برای رشد ساختارهایی همانند نانوتیوب‌ها^۳ و نانوسیم‌ها^۴ استفاده شده است. این فرایند شامل ترکیب یک ماده‌ی اولیه‌ی گازی است که بر روی یک زیر لایه رسوب داده می‌شود [۲۷].

فرآیند رسوب شیمیایی بخار انواع مختلفی دارد. هر یک از این فرآیندها با ایجاد تغییراتی در حالت پایه برای هدف خاصی ایجاد شده‌اند. این روش‌ها عبارتند از:

۱- رسوب شیمیایی بخار در فشار اتمسفر (APCVD)^۵

۲- رسوب شیمیایی بخار در فشار کم (LPCVD)^۶ یا رسوب شیمیایی بخار در خلاء بسیار بالا

(UHVCVD)^۷

۱ Chemical Vapor Deposition

۲ Physical Vapor Deposition

۳ Nanotubes

۴ Nanowires

۵ Atmospheric pressure CVD

۶ Low pressure CVD

۷ Ultra high vacuum CVD

۳- رسوب شیمیایی بخار آلی- فلزی (MOCVD)^۱ و رسوب شیمیایی بخار آلی- فلزی

واکنش‌پذیر (RMOCVD)^۲

۴- رسوب شیمیایی بخار به کمک پلاسما (PECVD)^۳

۵- رسوب شیمیایی بخار با آئروسول (AACVD)^۴

۶- رسوب شیمیایی بخار با تزریق مستقیم مایع (DLICVD)^۵

۳-۴-۱ اساس روش CVD

در ساده‌ترین صورت آن، CVD شامل جریان گاز یا گازهای پیش ماده در یک محفظه است. در محفظه‌ی فوق یک یا چند سطح گرم که قرار است پوشش‌دهی شوند، وجود دارد. در این روش واکنش‌های شیمیایی بر روی (و یا در نزدیکی) سطوح گرم رخ می‌دهد. در نتیجه، رسوب بر روی سطح زیر لایه رخ می‌دهد. این فرآیند منجر به تولید مواد شیمیایی می‌شود. همچنین مواد زائد و محصولات جانبی نیز به وجود می‌آیند که از محفظه، همراه با گازهای پیش ماده که واکنش نداده‌اند خارج می‌شود. رسوب‌دهی به طور معمول در دماهای بالاتر از 200°C انجام می‌پذیرد. روش CVD دربرگیرنده‌ی واکنش‌های شیمیایی در ماده‌ی اولیه (یا بین ماده‌های اولیه) است.

شکل ۳-۳ یک مثال از سیستم CVD می‌باشد، جایی که در آن گازهای واکنش‌دهنده، که به طور معمول گازهای پیش ماده گفته می‌شود (در اینجا CH_3SiCl_3 و H_2) در دمای مناسب وارد محفظه واکنش می‌شوند. همانطور که گازها از محفظه می‌گذرند گازها در تماس با زیرلایه‌ی داغ قرار می‌گیرند؛

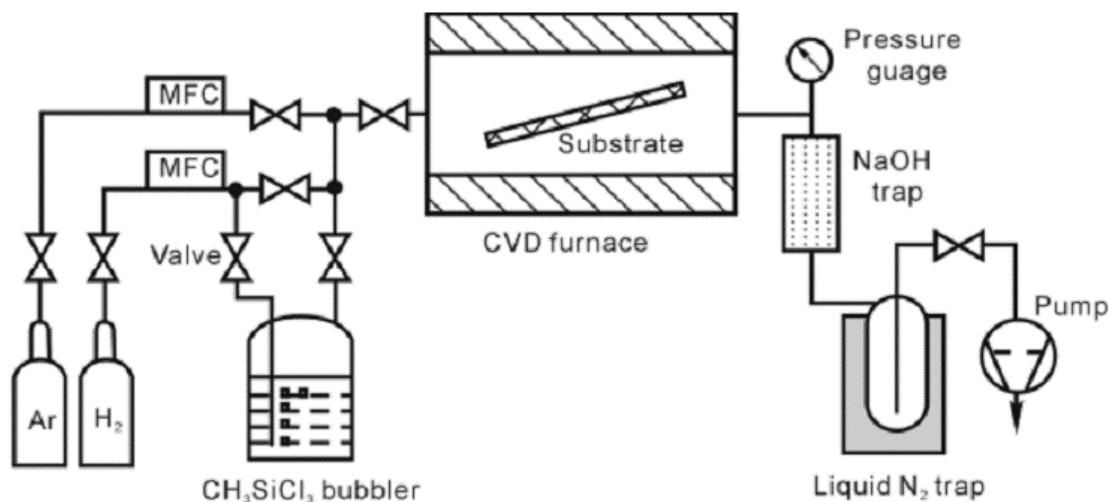
۱ Metal-organic CVD

۲ Reactive metal-organic CVD

۳ Plasma enhanced CVD

۴ Aerosol assisted CVD

۵ Direct liquid injection CVD



شکل ۳-۳: طرح کلی یک فرآیند CVD [۲۸]

سپس آن‌ها با هم واکنش می‌دهند و یک لایه‌ی جامد SiC بر روی زیرلایه رسوب داده می‌شود. معمولاً از یک گاز خنثی مانند آرگون به عنوان رقیق‌کننده استفاده می‌شود. در انتهای واکنش، گازهای خروجی شامل HCl توسط NaOH به دام انداخته می‌شوند و قبل از خروج از محفظه در دمای نیتروژن مایع متراکم می‌شوند.

به طور کلی در حین فرآیند CVD می‌توان گفت مراحل زیر اتفاق می‌افتند [۲۸]:

- ۱- انتقال جرم واکنش دهنده در حالت گازی به مجاورت زیرلایه؛
- ۲- جذب واکنش دهنده بر روی سطح زیرلایه؛
- ۳- مهاجرت سطحی، ورود اتم‌ها به سطح در حال رشد، و تشکیل محصول‌های جانبی؛
- ۴- دفع مواد زائد از سطح؛
- ۵- انتقال محصولات جانبی به خارج از محیط واکنش

۳-۵ رسوب فیزیکی بخار

در میان روش‌های گوناگون ایجاد یک لایه‌ی نازک، با ضخامتی از مرتبه‌ی نانومتر تا چند

میکرومتر، PVD شاید مشهورترین راه باشد. فرآیند PVD شامل چهار مرحله است [۲۶]:

- ۱- تبخیر: در این مرحله، یک هدف فلزی با یک منبع پر انرژی همانند یک باریکه‌ی یونی یا الکترونی، بمباران می‌شود. این باعث بیرون آمدن اتم‌ها از سطح هدف می‌شود.
- ۲- انتقال: این مرحله شامل انتقال اتم‌های بیرون آمده از هدف به سمت زیر لایه است.
- ۳- واکنش: این مرحله‌ی مهمی برای فرآیند PVD است. در این مرحله، اتم‌های فلزی با گاز در میان مرحله انتقال واکنش می‌دهد.
- ۴- رسوب: در این مرحله، مواد واکنش داده، سطح زیرلایه را می‌پوشاند.

۳-۶ روش‌های آنالیز میکروسکوپی

امروزه روش‌های مختلفی جهت شناسایی و آنالیز مواد وجود دارد که یکی از معروف‌ترین آن‌ها، روش‌های میکروسکوپی می‌باشد. در میکروسکوپ نوری برای بزرگ کردن تصاویر می‌توان انحناى سطح عدسی و یا تعداد آن‌ها را تغییر داد. در میکروسکوپ الکترونی به جای نور از الکترون استفاده می‌شود. چون طول موج الکترون بسیار کوتاه است، می‌توان بزرگ‌نمایی تصاویر را بسیار بالا برد. میکروسکوپ الکترونی در کل دو نوع می‌باشد: میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ و میکروسکوپ الکترونی عبوری^۲ [۲۹]. در ادامه به بررسی این دو نوع می‌پردازیم.

۳-۶-۱ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

میکروسکوپ الکترونی روبشی که از گروه میکروسکوپ‌های الکترونی است، از معروف‌ترین روش‌های میکروسکوپی به شمار می‌رود که علاوه بر تهیه‌ی تصاویر بزرگ‌نمایی شده، در صورتی که به تجهیزات اضافی مجهز شود می‌تواند برای آنالیز شیمیایی و دیگر بررسی‌ها نیز به کار گرفته شود. مبنای عملکرد این میکروسکوپ، برهم‌کنش پرتو الکترونی با ماده است. پرتوهای ساطع شده از این برهم‌کنش

۱ Scanning Electron Microscope

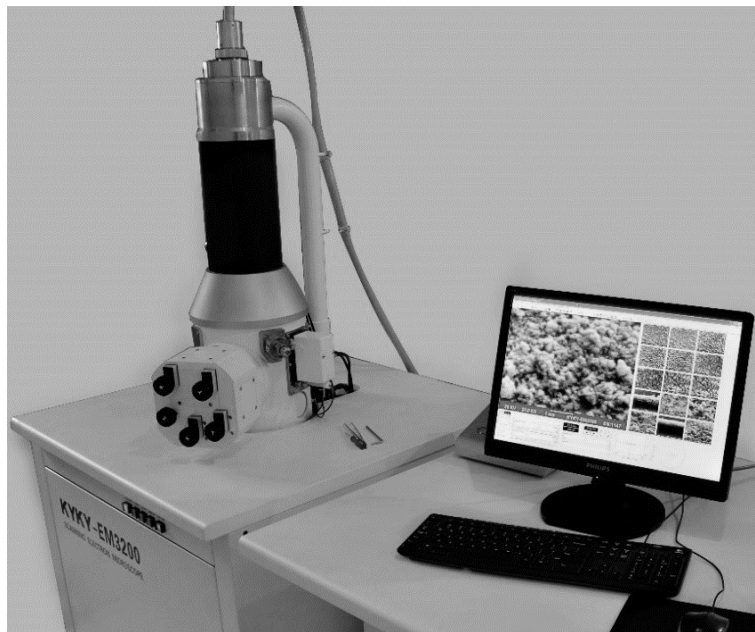
۲ Transmission Electron Microscope

می‌تواند جهت تحلیل نمونه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۳-۴ نمایی از این میکروسکوپ را نشان می‌دهد. در این نوع میکروسکوپ، الکترون به سطح نمونه تابیده می‌شود و پراکنده شده و توسط آشکارساز جمع‌آوری می‌شود. در این میکروسکوپ فقط ساختار سطح نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد. SEM اطلاعات زیر را در خصوص نمونه در اختیار می‌گذارد:

- ۱- توپوگرافی^۱ نمونه: خصوصیات سطوح
- ۲- مورفولوژی^۲: شکل، اندازه و نحوه‌ی قرارگیری ذرات در سطح جسم
- ۳- ترکیب: اتم‌هایی که نمونه را می‌سازند

۳-۶-۲ اجزای SEM

برای کار با میکروسکوپ الکترونی به محیط خلأ نیاز است. به همین دلیل پس از قرار دادن نمونه در محفظه، حجم داخل ستون میکروسکوپ به کمک پمپ‌های موجود، به خلأ مناسب می‌رسد.



شکل ۳-۴: میکروسکوپ الکترونی روبشی

۱ Topography

۲ Morphology

وقتی که خلأ مورد نیاز حاصل شد، پرتو الکترونی تولید و روی نمونه متمرکز می‌شود. در نتیجه‌ی برخورد پرتوی الکترونی با نمونه، سیگنال‌های مناسب تولید می‌شوند که توسط آشکارسازها دریافت و در نهایت به تصویر تبدیل می‌شوند. SEM از اجزای زیر تشکیل شده است (شکل ۳-۵):

۱- تفنگ الکترونی

۲- لنزهای الکترومغناطیسی

۳- سیستم روبش

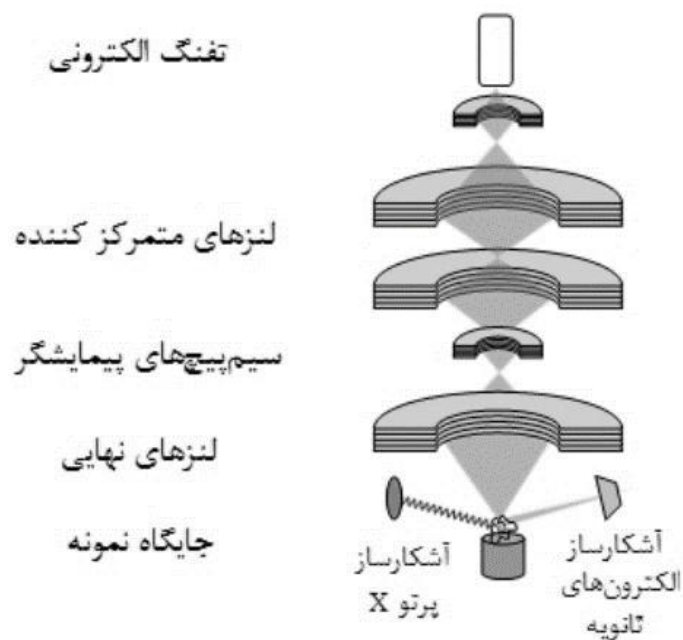
۴- آشکارسازها

۵- سیستم نمایش تصویر

۶- سیستم خلأ

۳-۶-۳ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری ابزارهایی ویژه برای مشخص نمودن ساختار و ریخت شناسی مواد محسوب می‌شوند که مطالعه‌ی ساختار ریز مواد با قدرت تفکیک بالا، و بزرگ‌نمایی خیلی زیاد را

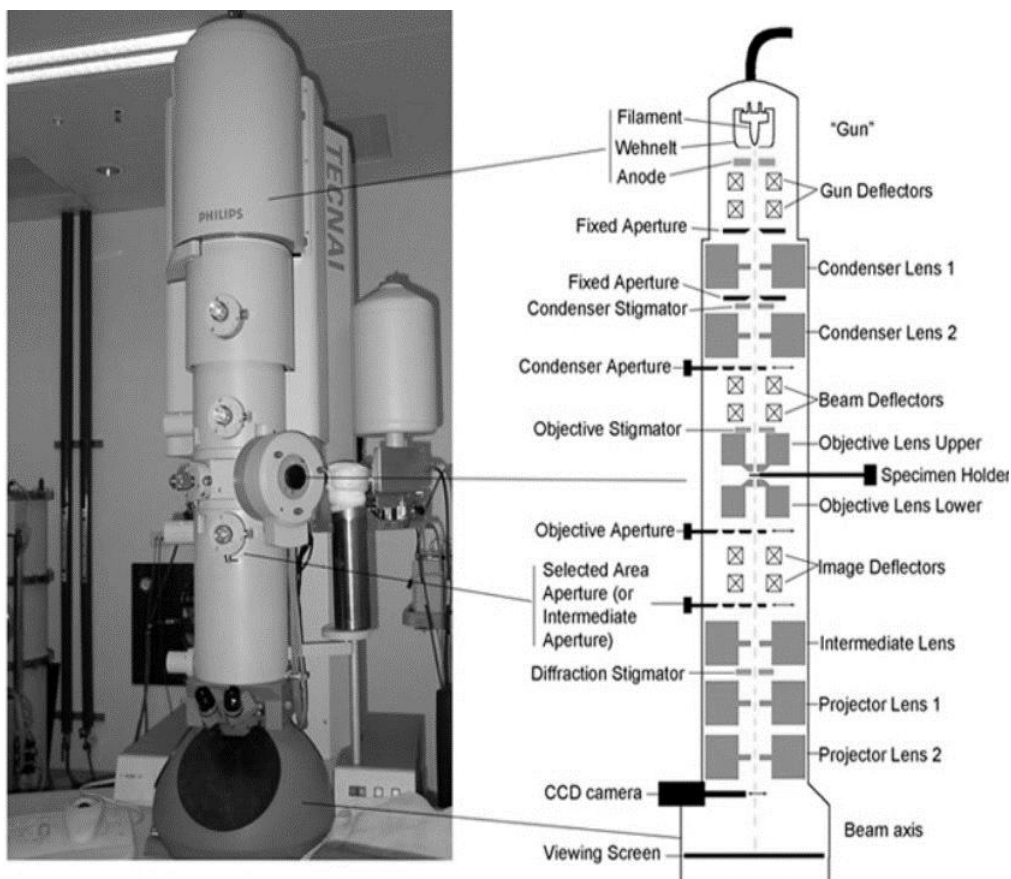


شکل ۳-۵: قسمت‌های مختلف SEM

امکان پذیر می‌سازند. علاوه بر این از این میکروسکوپ‌ها جهت مطالعه‌ی ساختارهای بلور، تقارن، جهت‌گیری و نقص‌های بلوری می‌توان استفاده نمود. این موارد سبب شده است که TEM امروزه یک ابزار بسیار مهم در بسیاری از تحقیقات پیشرفته‌ی فیزیک، شیمی، بلورشناسی، علم مواد و زیست‌شناسی شناخته شود [۲۹].

۳-۶-۴ بخش‌های مهم TEM

اگرچه دستگاه‌های پیشرفته TEM دارای اجزای اصلی و فرعی فراوانی می‌باشند که هر کدام از عملکرد ویژه‌ای برخوردار هستند، اما انواع مختلف TEM شامل بخش‌های اصلی زیر می‌باشند (شکل ۳-۶):



شکل ۳-۶: نمایی از دستگاه TEM و قسمت‌های تشکیل دهنده‌ی آن

- ۱- تفنگ الکترونی
- ۲- سیستم‌های عدسی
- ۳- عدسی‌های متمرکز کننده
- ۴- محفظه‌ی نمونه
- ۵- عدسی‌های میانی و شیئی
- ۶- دوربین
- ۷- پمپ خلا

فصل چهارم

نتیج شیه سازی با *Geant4*

برای تهیه‌ی نانوساختار به کمک تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو ابتدا دز و انرژی جذب شده در سطح مواد را محاسبه می‌کنیم. این انرژی اگر از انرژی بستگی اتم در ساختار شبکه‌ای ماده بیشتر باشد، باعث جابه‌جایی اتم می‌شود. علاوه بر این، اگر انرژی دریافت شده، بزرگ‌تر باشد، همان اتم می‌تواند اتم‌های دیگر در شبکه را نیز جابه‌جا کند و زنجیره‌ای از برخوردها و جابجایی‌های اتمی را ایجاد کند. همچنین این برخوردها می‌تواند باعث یونش و برانگیزش در ماده شوند.

در این فصل بعد از معرفی کد Geant4، ابتدا به شبیه‌سازی و محاسبه‌ی دز جذب شده در مواد مختلف با استفاده از کد شبیه‌سازی Geant4 می‌پردازیم و سپس برای به دست آوردن اکتیویته، یک نوع آشکارساز را شبیه‌سازی و بازدهی آشکارساز را محاسبه می‌کنیم.

۴-۱ کد شبیه‌سازی Geant4

Geant4 نرم افزاری برای شبیه‌سازی عبور ذرات از ماده، با استفاده از روش مونت کارلو است. شکل‌گیری Geant4 به طور جداگانه توسط دو گروه مستقل در CERN و KEK از سال ۱۹۹۳ شروع شد. این کد براساس زبان برنامه نویسی C++ نوشته شده است و تکنیک‌های بسیار پیشرفته‌ی مهندسی نرم‌افزاری و ویژگی شیء‌گرایی^۱ را مورد استفاده قرار می‌دهد. Geant4 دارای امکاناتی است که این کد را نسبت به سایر کدهای شبیه‌سازی متمایز می‌کند. این کد شامل قسمت‌های کاملی متشکل از ردیابی، هندسه، برهم‌کنش‌های فیزیکی و برخوردها است. Geant4 قادر به لحاظ کردن برهم‌کنش‌های فیزیکی همچون فرآیندهای الکترومغناطیسی، هادرونی و نوری است. این کد قادر است تمام ذراتی که تاکنون شناخته شده است را شبیه‌سازی کند. ذرات شبیه‌سازی شده می‌توانند تا مرتبه‌ی TeV انرژی داشته باشند.

^۱ object-oriented

Geant4 در تمام زمینه‌هایی که با پرتو سروکار دارند، قابل استفاده است. این کد در برنامه‌های شبیه‌سازی در زمینه‌های فیزیک هسته‌ای، فیزیک پزشکی، مهندسی فضا، فیزیک ذرات با انرژی بالا، فیزیک شتاب‌دهنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در زمینه‌ی پزشکی این کد در براکی تراپی، رادیوتراپی، BNCT و اثرات پرتودهی بر بافت زنده کاربرد دارد. در زمینه‌ی مهندسی فضا، این کد توانایی محاسبات مرتبط با پرتوهای کیهانی را دارد. دامنه‌ی کاربرد این کد عبارتند از:

۱- سیستم‌های الکترونی و آشکارسازهای علوم فضایی

۲- شبیه‌سازی خطرات تابش روی فضانوردان

۳- میکرو دزیمتری و ...

در زمینه‌ی فیزیک ذرات با انرژی بالا، همانطور که اشاره شد این کد قادر به شبیه‌سازی ذراتی با انرژی تا محدوده‌ی TeV است. وقتی ذره‌ای پرنرژی با ماده‌ای برخورد می‌کند، این کد قادر است مسیر حرکت ذره و حتی مسیر ذراتی ثانویه‌ای که در اثر برخورد این ذره با ماده به وجود می‌آیند را نمایش دهد.

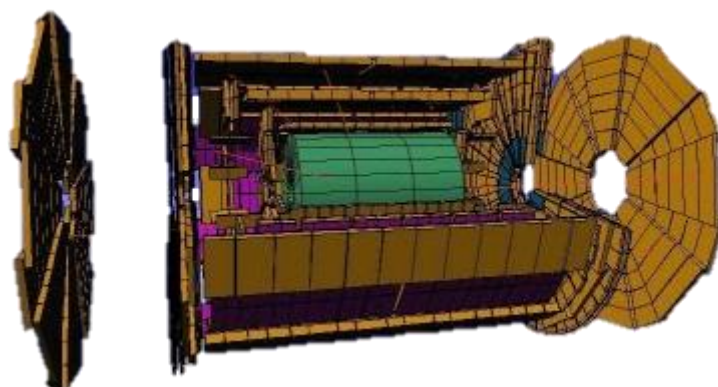
هندس در ابزار شیء‌گرای Geant4 از تعدادی حجم تشکیل شده است که بزرگترین حجم، حجم جهانی نام می‌گیرد. این حجم باید همه‌ی حجم‌های تعریف شده را در برگیرد. حجم‌های دیگر نیز ساخته می‌شوند و داخل حجم جهانی قرار می‌گیرند. به علت سادگی، عموماً حجم جهانی با استفاده از یک مکعب ساخته می‌شود. هر حجم با توصیف شکل و خواص فیزیکی‌اش تعریف شده و سپس داخل حجم دربرگیرنده‌اش قرار داده می‌شود.

به منظور توصیف شکل یک حجم، از مفهوم solid استفاده می‌شود. این solid یک شیء هندسی با شکل مشخص و ابعاد معین می‌باشد. یک مکعب و یا یک کره نمونه‌هایی از یک solid هستند. به منظور توصیف خواص کامل یک حجم مشخص از مفهوم حجم منطقی استفاده می‌شود. این حجم شامل اطلاعاتی از جمله خواص هندسی شکل‌ها و خواص فیزیکی مانند ماده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی حجم، میدان مغناطیسی، حجم حساس آشکارساز و غیره می‌باشد. در نهایت برای موقعیت دادن به حجم تعریف شده، یک حجم فیزیکی ایجاد می‌شود.

کد شبیه‌سازی Geant4 قادر است که پیچیده‌ترین آشکارسازها را شبیه‌سازی کند. شکل ۴-۱ نمایی از یک آشکارساز ذرات با انرژی بالا را که با استفاده از Geant4 شبیه‌سازی شده است را نشان می‌دهد [۳۰].

برای انتقال ذرات پرنرژی از ابزار (GPS) G4GeneralParticleSource استفاده می‌شود. این ابزار بخشی از ابزار Geant4 می‌باشد. با استفاده از این مولد امکان تعریف طیف و نیز توزیع زاویه‌ای و مکانی ذرات اولیه امکان‌پذیر می‌باشد.

توزیع مکانی با تعریف چند شکل ساده که ذرات اولیه از آن‌ها گسیل می‌شوند، تعریف می‌شوند. ساده‌ترین توزیع، چشمه‌ی نقطه‌ای می‌باشد. در چشمه‌های دو بعدی ذرات از سطوحی مانند دایره،



شکل ۴-۱: نمایی از یک آشکارساز ذرات با انرژی بالا را که با استفاده از GEANT4 شبیه‌سازی شده است [۳۰].

حلقه، بیضی، مربع و یا مستطیل گسیل می‌شوند. در حالات پیچیده‌تر، چشمه‌های سطحی و یا حجمی قابل تعریف می‌باشند و ذرات می‌توانند از سطوح اشکال سه بعدی و یا از کل یک حجم مشخص گسیل شوند.

توزیع زاویه‌ای به منظور کنترل جهت ذرات گسیل شده از چشمه‌ی نقطه‌ای به کار می‌رود. توزیع‌های زاویه‌ای که در GPS در نظر گرفته شده است، توزیع‌های یک جهته، همسانگرد، کسینوسی و توزیع دلخواه که کاربر آن را تعیین می‌کند، هستند.

۲-۴ شبیه‌سازی هندسه و چشمه‌ی رادیواکتیو

با استفاده از کد شبیه‌سازی Geant4، اهداف کربن (C)، سیلیکون (Si) و مس (Cu) شبیه‌سازی شدند. با توجه به اینکه عددهای اتمی مس و روی تقریباً برابر است، نتایج به دست آمده از این دو تقریباً برابر خواهد بود. اهداف شبیه‌سازی شده به مدت ۱۵ دقیقه تحت تابش‌دهی چشمه‌های ^{60}Co ، ^{137}Cs و ^{192}Ir با اکتیویته‌ی $10\ \mu\text{Ci}$ قرار گرفتند.

در فایل DetectorConstruction، برای ایجاد یک فضای ساده به عنوان جهان تنها نیاز به تعریف نام و اندازه‌ی هر محور مختصات در دستگاه کارتیزین به صورت زیر است، که خط اول باعث ایجاد یک محیط مکعبی به اندازه‌ی $2 \times 2 \times 2\ \text{m}$ می‌شود. برای ساخت جهان با استفاده از کتابخانه G4Box، روال آن است که نصف اندازه‌ی ابعاد محیط در برنامه گذاشته شود. برای ایجاد یک حجم منطقی، خط دوم به برنامه اضافه می‌شود. خط سوم برای ایجاد حجم فیزیکی تعریف شده در برنامه قرار خواهد گرفت.

```
fSolidWorld = new G4Box("world",1.*m, 1.*m, 1.*m);
```

```
fLogicWorld = new G4LogicalVolume( fSolidWorld, fDefaultMater, "World");
```

```
fPhysiWorld = new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(),fLogicWorld,"World",0 , false, 0);
```

برای تعریف نوع ماده به کار رفته در محیط‌های شبیه سازی شده از کتابخانه Geant4 استفاده شد. به عنوان مثال برای محیط خلا دستور زیر در برنامه قرار می گیرد.

```
G4Material* fDefaultMater = nist ->FindOrBuildMaterial("G4_Galactic");
```

برای تعریف نمونه‌ی هدف، دستورات زیر بعد از تعریف جهان در برنامه قرار گرفت. نمونه‌ها در این شبیه‌سازی صفحات مربعی به ابعاد 30×30 cm و ضخامت 2 mm است.

```
fSolidTarget = new G4Box("Target",15.*cm, 15.*cm, 1.*mm);
```

```
fLogicTarget = new G4LogicalVolume( fSolidTarget, fTargetMater, "Target");
```

```
fPhysiTarget=newG4PVPlacement(0,G4ThreeVector(),fLogicTarget,"Target",  
fLogicWorld, false, 0);
```

برای اندازه‌گیری دز جذب شده، نیاز به تعریف شبکه در فایل اجرایی برنامه است. برای این منظور ابتدا باید در قسمت اصلی برنامه، کلاس G4ScoringManager را معرفی کرد. در صفحه‌ی بعد یکی از فایل‌های اجرایی برنامه نوشته شده است. شبکه‌های تعریف شده در این برنامه روی سطح نمونه قرار گرفته است. ضخامت سطح مورد بررسی (ضخامت شبکه) به اندازه‌ی $1 \mu\text{m}$ تعریف شده است. طول و عرض شبکه به 50 قسمت تقسیم‌بندی شده است. اولین شبکه در برنامه دز ناشی از تابش ماده‌ی رادیواکتیو، دومین شبکه، دز ناشی از تابش گاما و سومین شبکه، دز ناشی از تابش بتا را اندازه‌گیری می‌کند. مقدار واپاشی‌های حالت فوق برای هر دو چشمه به روش زیر محاسبه می‌شود.

یک کوری به صورت $10^7 \times 3/7$ واپاشی در ثانیه تعریف شده است [31]. مقدار اکتیویته باید در این عدد ضرب شود که حاصل برابر $10^8 \times 3/33$ خواهد بود. این مقدار بعد از عبارت /run/beamOn قرار داده شد. خروجی کد شبیه‌سازی مقدار دز جذب شده در هر نقطه‌ی هدف بر حسب گری (Gy) خواهد بود. برای ذخیره کردن اطلاعات یک شبکه در یک فایل زیر دستور نوشته می‌شود.

```
/score/dumpQuantityToFile
```

```
/score/create/boxMesh box_1
/score/mesh/boxSize 15. 15. 0.0001 cm
/score/mesh/translate/xyz 0. 0. 0.999 mm
/score/mesh/nBin 50 50 1
/score/quantity/doseDeposit dose_1
/score/close box_1
```

```
/score/create/boxMesh box_2
/score/mesh/boxSize 15. 15. 0.0001 cm
/score/mesh/translate/xyz 0. 0. 0.999 mm
/score/mesh/nBin 50 50 1
/score/quantity/doseDeposit dose_2
/score/filter/particle gammaFilter gamma
/score/close box_2
```

```
/score/create/boxMesh box_3
/score/mesh/boxSize 15. 15. 0.0001 cm
/score/mesh/translate/xyz 0. 0. 0.999 mm
/score/mesh/nBin 50 50 1
/score/quantity/doseDeposit dose_3
/score/filter/particle eMinusFilter e-
/score/close box_3
```

```
/score/list
```

```
/run/initialize
```

```
/grdm/analogueMC 1
```

```
/gps/particle ion
/gps/ion 55 137 0 0
/gps/energy 0 keV
/gps/position 0. 0. 10. Cm
```

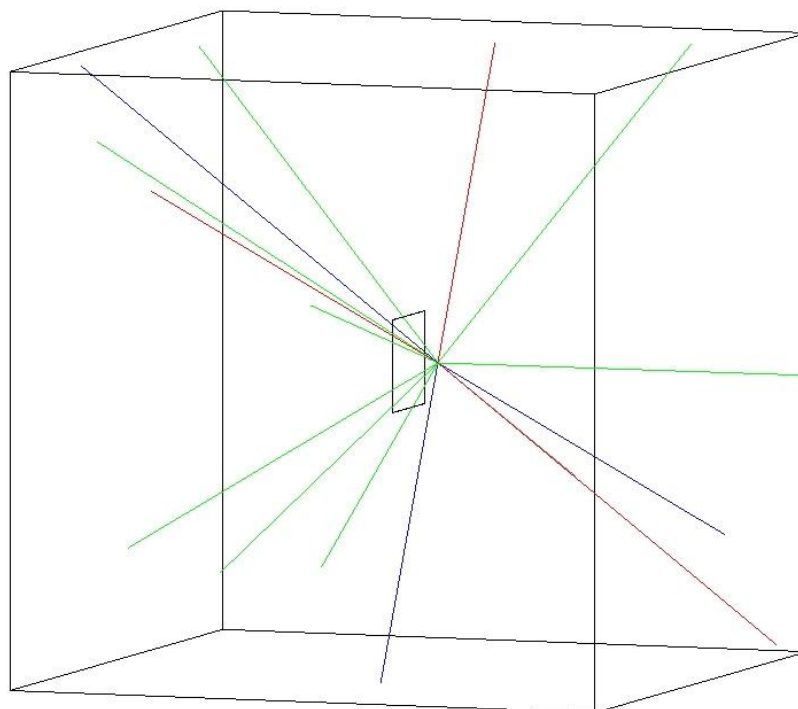
```
/run/beamOn 333000000
```

```
/score/dumpQuantityToFile box_1 dose_1 doseCs_1.txt
/score/dumpQuantityToFile box_2 dose_2 doseCs_2.txt
/score/dumpQuantityToFile box_3 dose_3 doseCs_3.txt
```

برای تعریف چشمه در فایل اجرایی از ابزار GPS استفاده شده است. چشمه به صورت یک چشمه نقطه‌ای، که در فاصله ۱۰ cm از مرکز هدف قرار دارد، تعریف شده است. شکل ۲-۴ نمایی از جهان و هدف شبیه‌سازی شده که با تابش‌های ماده رادیواکتیو در حال دریافت دز است را نشان می‌دهد. در کد شبیه‌سازی Geant4 به جای محاسبه‌ی دز جذب شده می‌توان انرژی جذب شده را محاسبه کرد و سپس دز را محاسبه کرد. دز جذب شده به صورت انرژی جذب شده در واحد جرم نمونه تعریف می‌شود. در دستگاه Si یکای اندازه‌گیری دز گری (Gy) است.

$$1\text{Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

برای تبدیل انرژی جذب شده به دز باید انرژی را به واحد ژول تبدیل کرد و سپس بر جرم یک سلول شبکه تقسیم نمود. یادآوری می‌شود که در این شبیه‌سازی مستقیماً دز محاسبه شده است.



شکل ۲-۴: نمایی از جهان و هدف در حال دریافت دز

۳-۴ واپاشی رادیواکتیو

واپاشی‌های رادیواکتیو را می‌توان به سه نوع آلفا، بتا و گاما تقسیم‌بندی کرد. در واپاشی آلفا، هسته، یک ذره‌ی آلفا (${}^4\text{He}$) گسیل می‌کند. بسیاری از هسته‌های سنگین با گسیل آلفا واپاشیده می‌شوند.

واپاشی بتایی به سه صورت امکان پذیر است. نخستین فرایند، واپاشی بتای منفی یعنی تبدیل نوترون به پروتون و گسیل یک الکترون است. دومین فرایند واپاشی بتای مثبت یعنی تبدیل پروتون به نوترون است که در آن یک پوزیترون گسیل می‌شود. در آخرین فرایند نیز که گیراندازی الکترون نام دارد، یک الکترون اتمی که به هسته نزدیک است، جذب هسته می‌شود و تبدیل پروتون به نوترون رخ می‌دهد.

ممکن است واپاشی‌های آلفا و بتا، هسته‌ی نهایی را در تراز برانگیخته ایجاد کنند. این هسته‌ی برانگیخته با گسیل گاما به تراز برانگیخته‌ی پایین‌تر و یا حالت پایه می‌رود [۳۱].

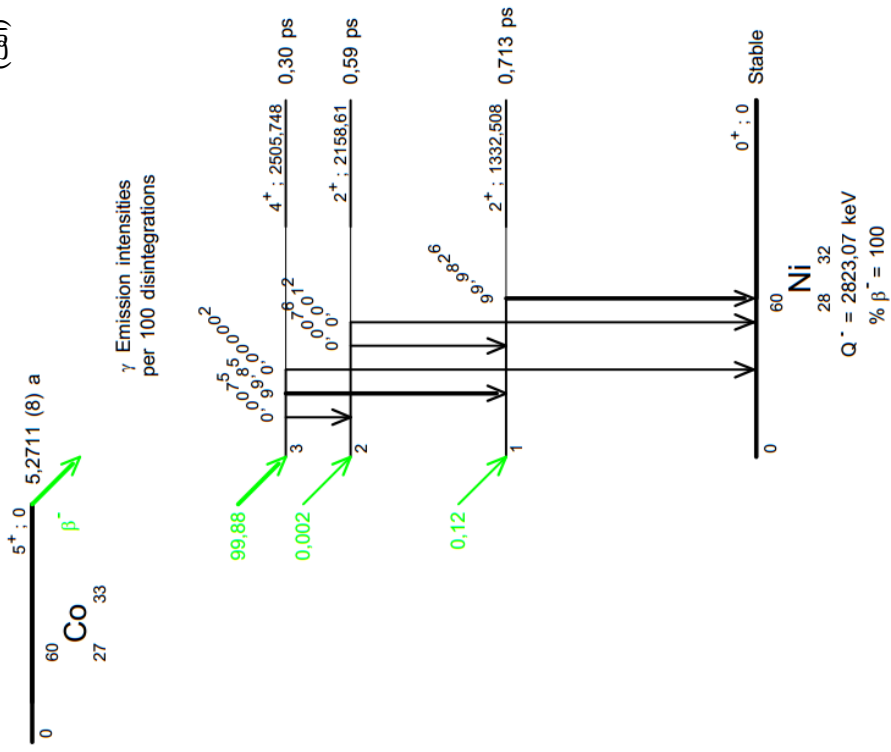
شکل ۳-۴ (الف) واپاشی ${}^{60}\text{Co}$ به ترازهای ${}^{60}\text{Ni}$ را نشان می‌دهد. هسته‌ی ${}^{60}\text{Co}$ با نسبت انشعابی ۹۹/۸۸ درصد و نیمه‌عمر ۵/۲۷ سال به تراز برانگیخته‌ی ${}^{60}\text{Ni}$ واپاشی می‌کند. این هسته‌ی برانگیخته نیز با گسیل دو فوتون گاما با انرژی‌های $1/173\text{ MeV}$ و $1/332\text{ MeV}$ به حالت پایه خواهد رسید.

شکل ۳-۴ (ب) نیز واپاشی ${}^{137}\text{Cs}$ را به ترازهای ${}^{137}\text{Ba}$ نشان می‌دهد. این هسته با نسبت انشعابی ۹۴/۴ درصد و انجام واپاشی بتایی به تراز برانگیخته‌ی ${}^{137}\text{Ba}$ تبدیل می‌شود. بیشینه انرژی الکترون در این واپاشی برابر $0/514\text{ MeV}$ است. این هسته‌ی برانگیخته با نیمه‌عمر ۲:۵۵ دقیقه برای رسیدن به حالت پایه یک گاما با انرژی $0/662\text{ MeV}$ گسیل می‌کند.

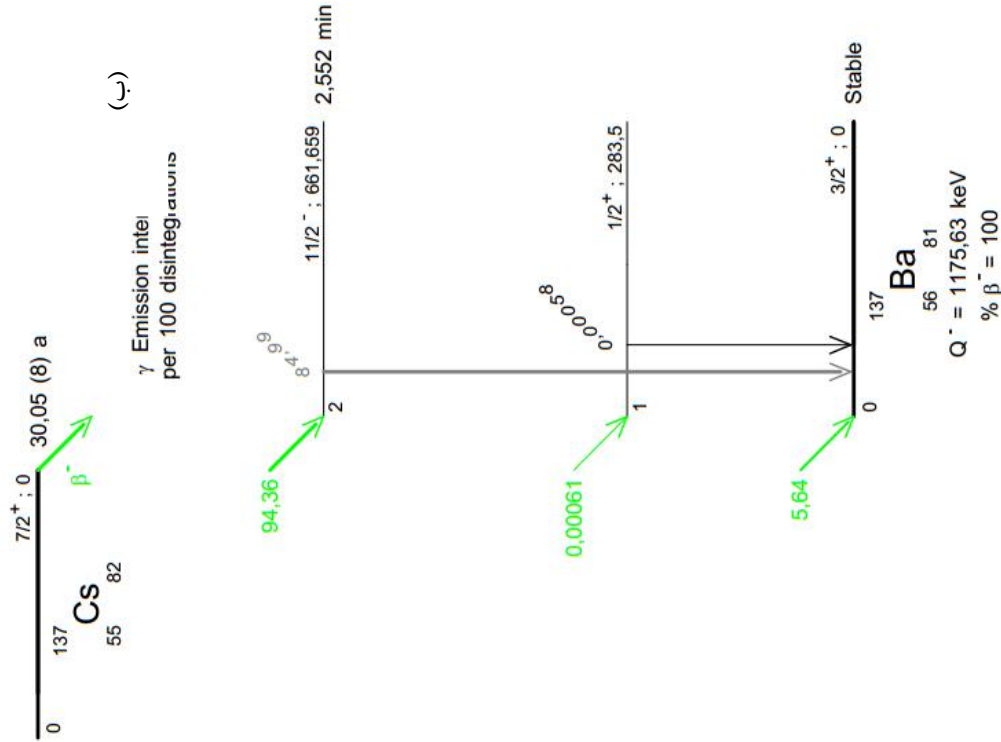
یک راه دیگر برای رسیدن ^{137}Cs به حالت پایدار این است که با انجام واپاشی بتایی و با نسبت انشعابی ۵/۶۵ درصد، مستقیماً به حالت پایه‌ی هسته‌ی ^{137}Ba برود. بیشینه انرژی الکترون در این حالت برابر $1/176 \text{ MeV}$ خواهد بود.

^{192}Ir با گسیل الکترون (۹۵/۱۳ درصد) به تراز برانگیخته ^{192}Pt و از طریق گیراندازی الکترون (۴/۸۷ درصد) به تراز برانگیخته ^{192}Os واپاشی می‌کند. شکل ۴-۴ واپاشی ^{192}Ir را به ترازهای برانگیخته نشان می‌دهد.

(الف)



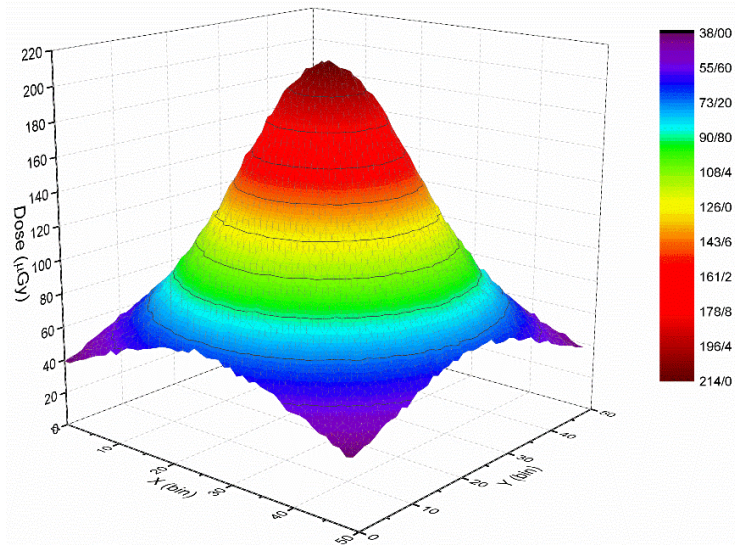
(ب)



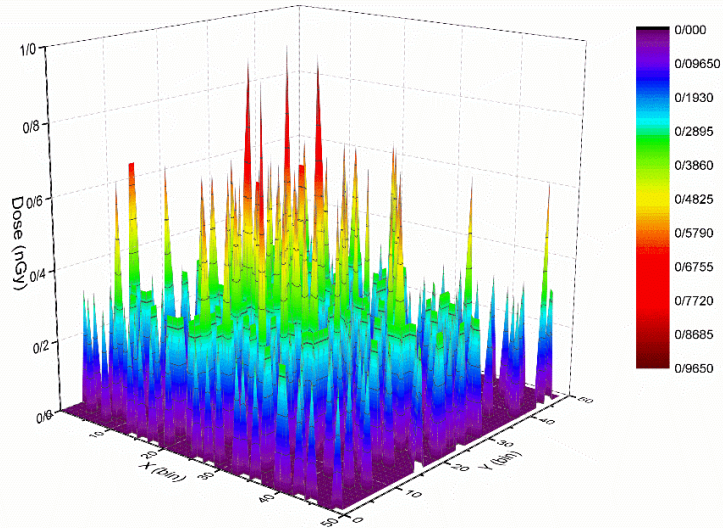
شکل ۴-۳: (الف) واپاشی ^{60}Co به ترازهای ^{60}Ni و (ب) واپاشی ^{137}Cs به ترازهای ^{137}Ba

۴-۴ محاسبه‌ی دز جذب شده در اهداف کربن، سیلیکون و مس

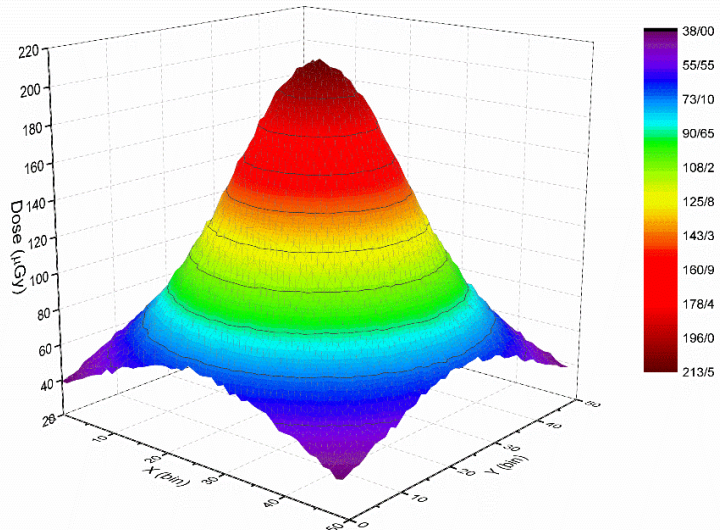
خروجی کد با توجه به پارامتری که در فایل اجرایی تعریف کرده‌ایم استخراج می‌شود. در نهایت خروجی کد با استفاده از نرم‌افزار Origin رسم شده است. در هر شکل، قسمت (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی اهداف، قسمت (ب) دز ناشی از گامای حاصل از مواد رادیواکتیو، قسمت (ج) نیز دز ناشی از بتا را محاسبه می‌کند.



(الف)



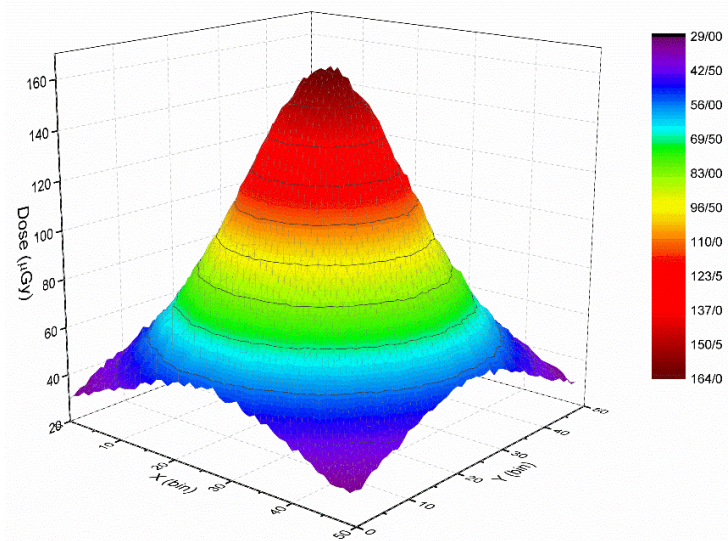
(ب)



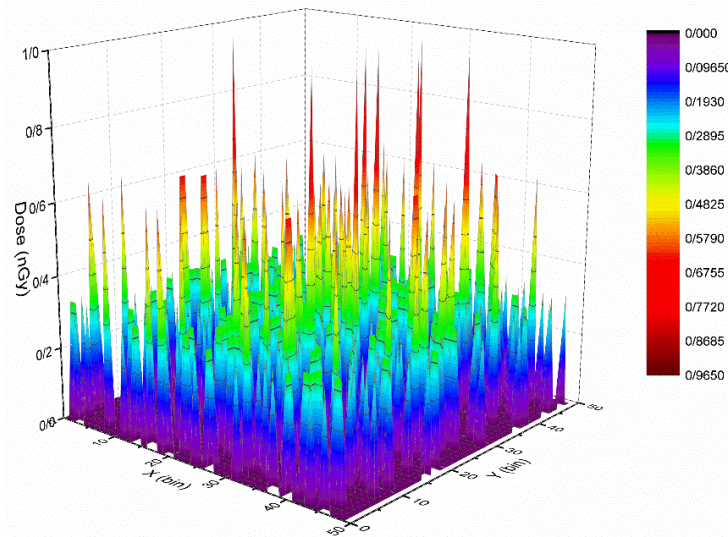
(ج)

شکل ۴-۵: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح کربن (ب)

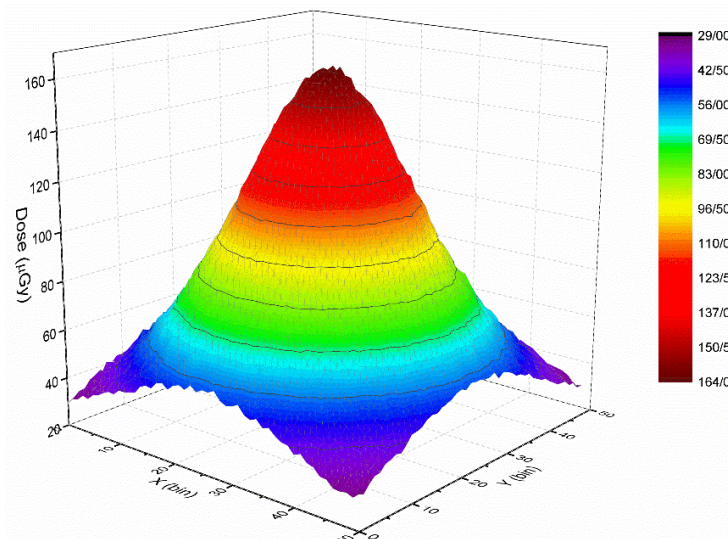
دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{60}Co



(الف)



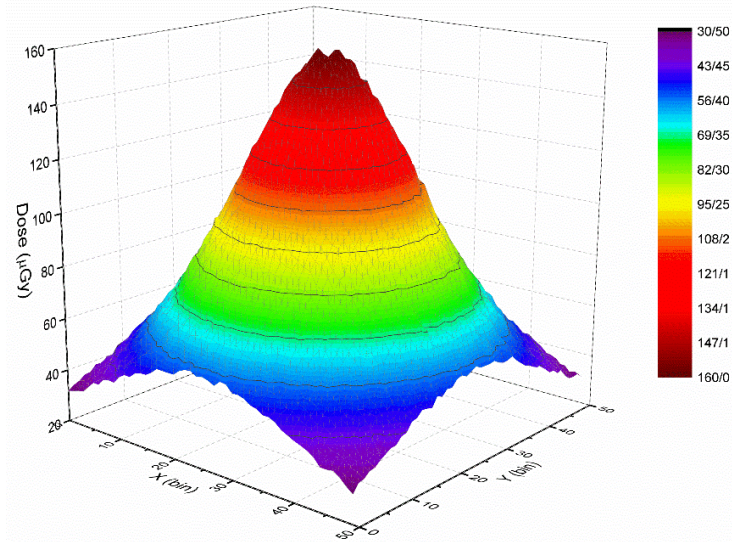
(ب)



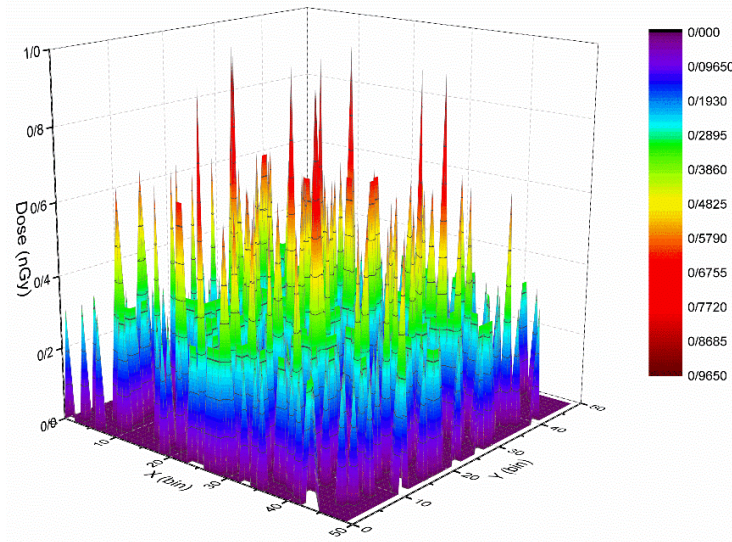
(ج)

شکل ۴-۶: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح کربن (ب)

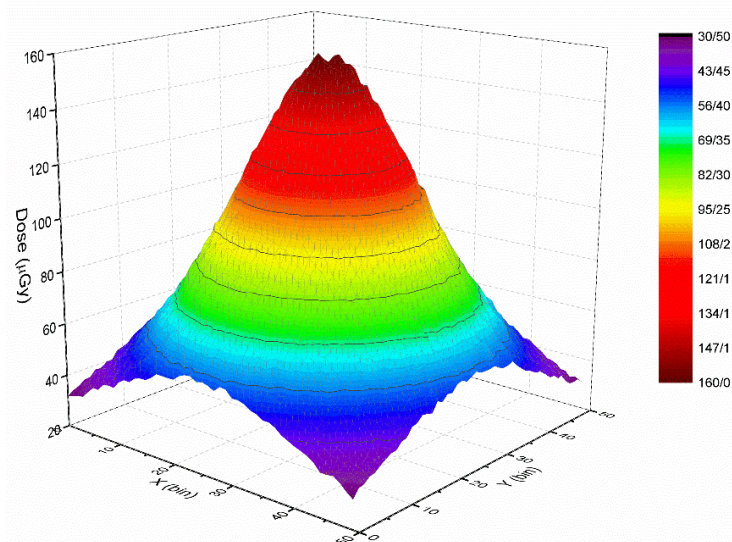
دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{137}Cs



(الف)



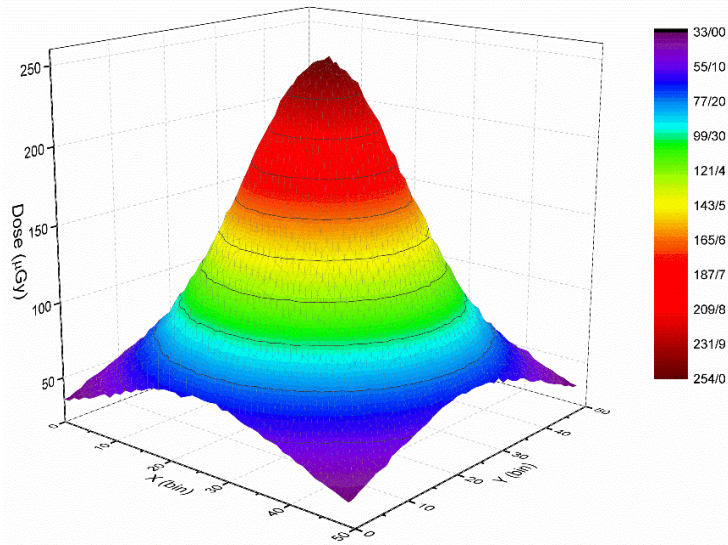
(ب)



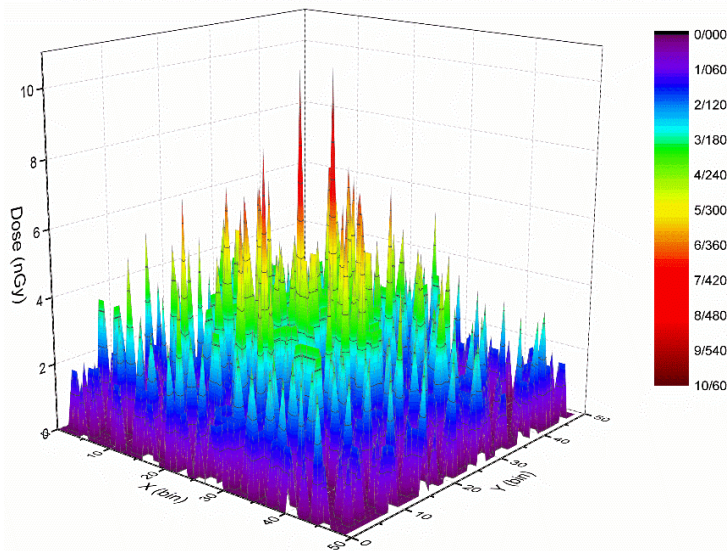
(ج)

شکل ۴-۷: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح کربن

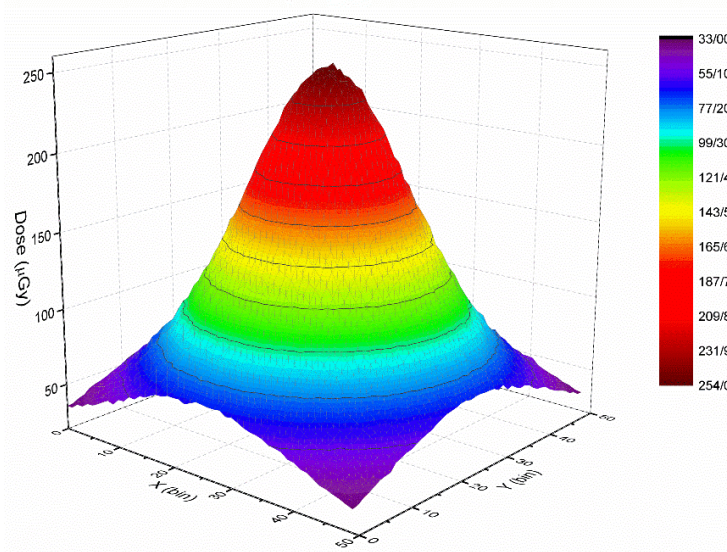
(ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{192}Ir



(الف)



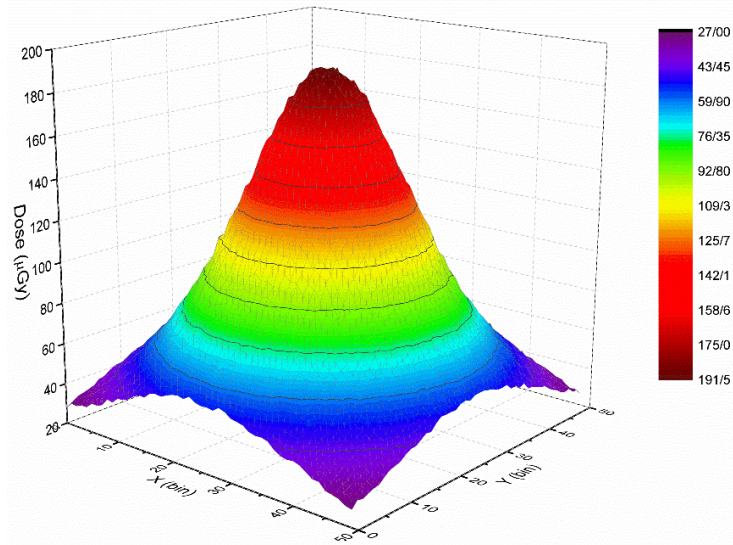
(ب)



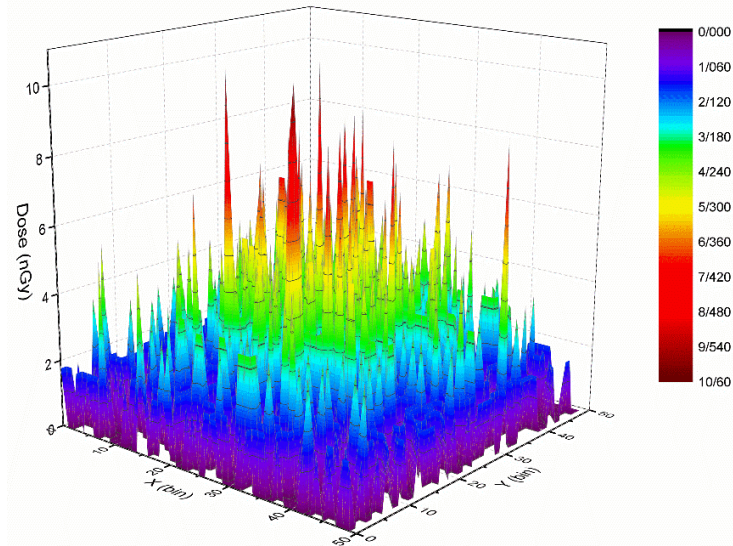
(ج)

شکل ۴-۸: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح سیلیسیوم

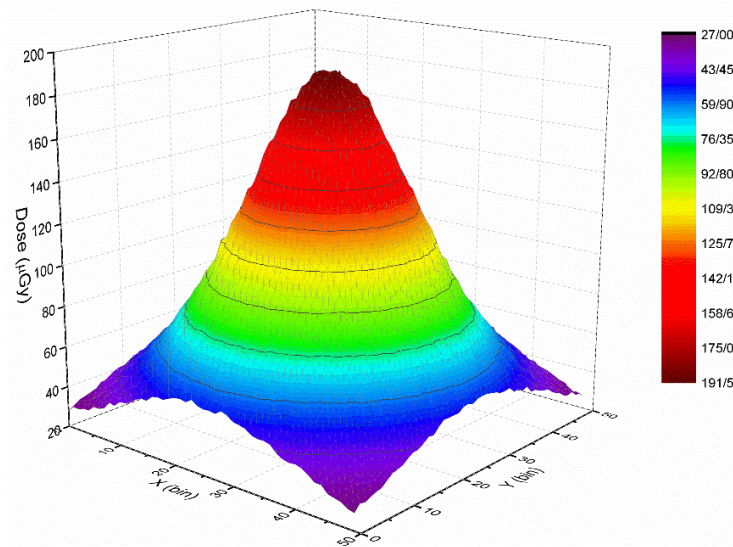
(ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{60}Co



(الف)



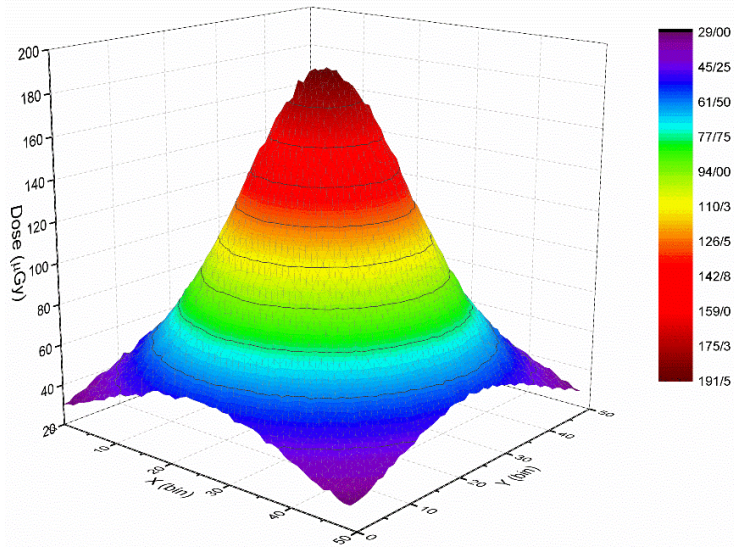
(ب)



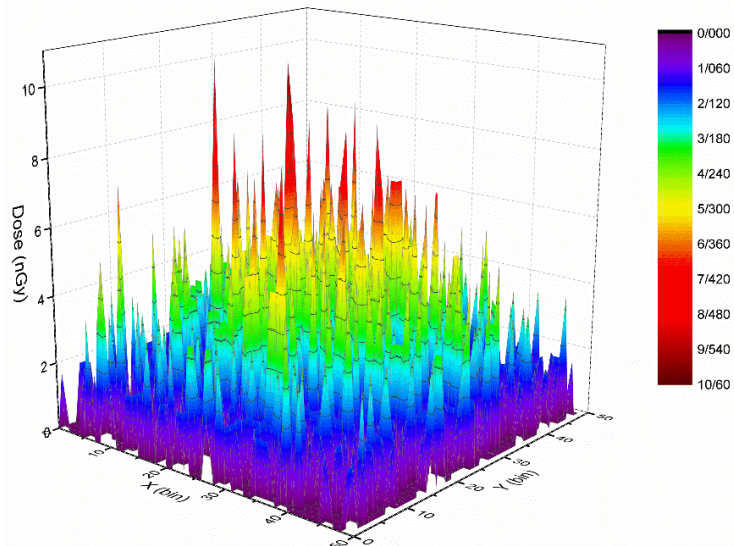
(ج)

شکل ۴-۹: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح سیلیسیوم

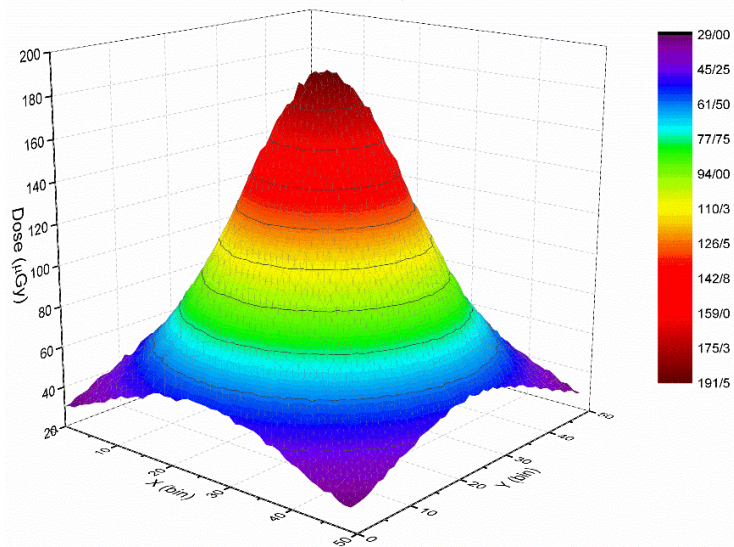
(ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{137}Cs



(الف)



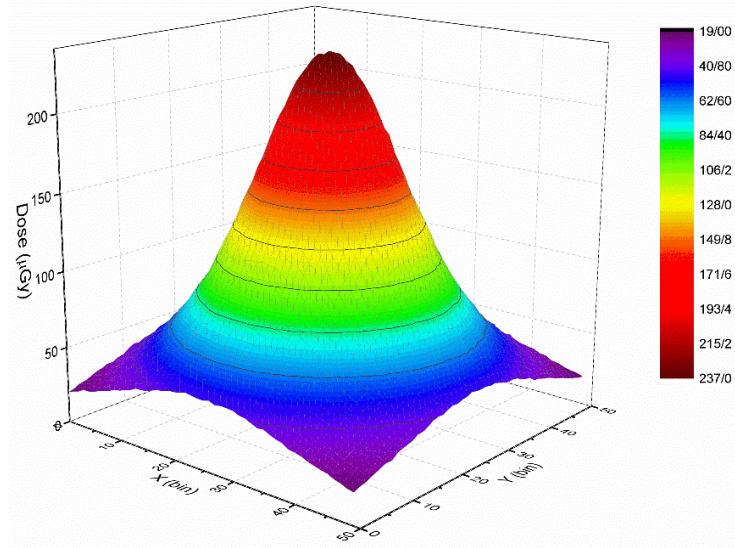
(ب)



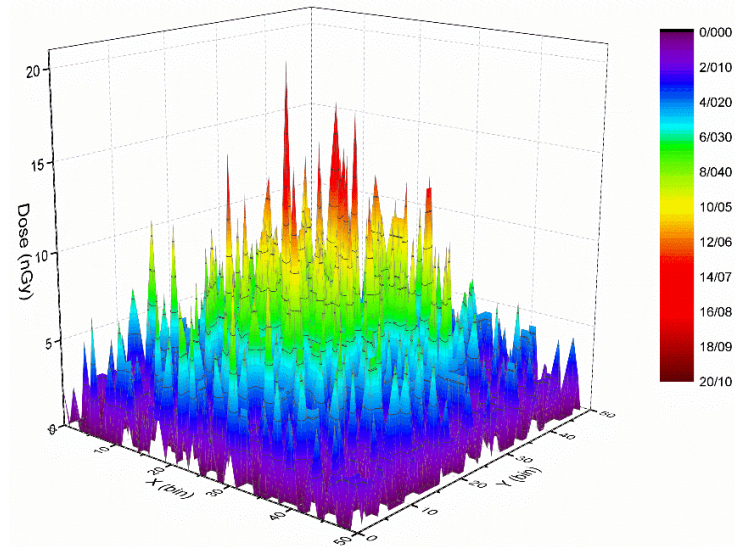
(ج)

شکل ۴-۱۰: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح سیلیسیوم

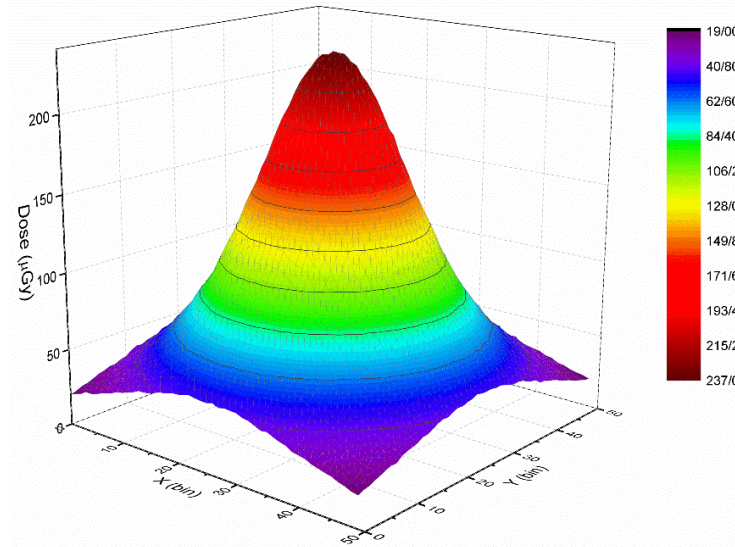
(ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{192}Ir



(الف)



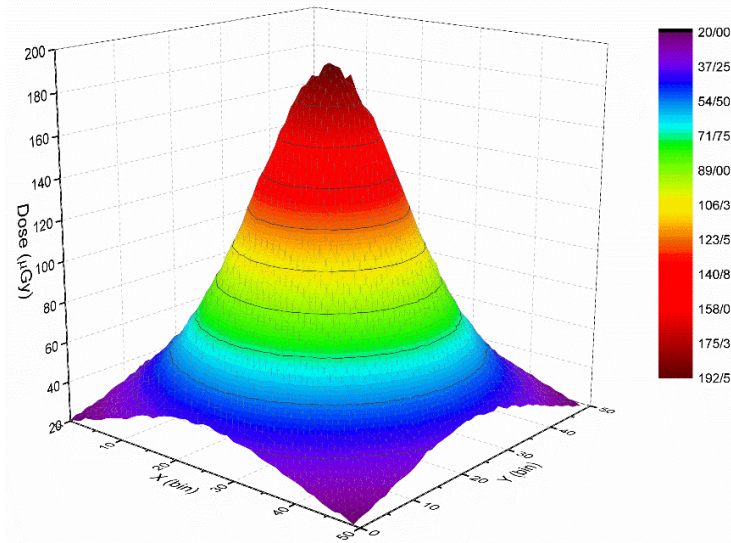
(ب)



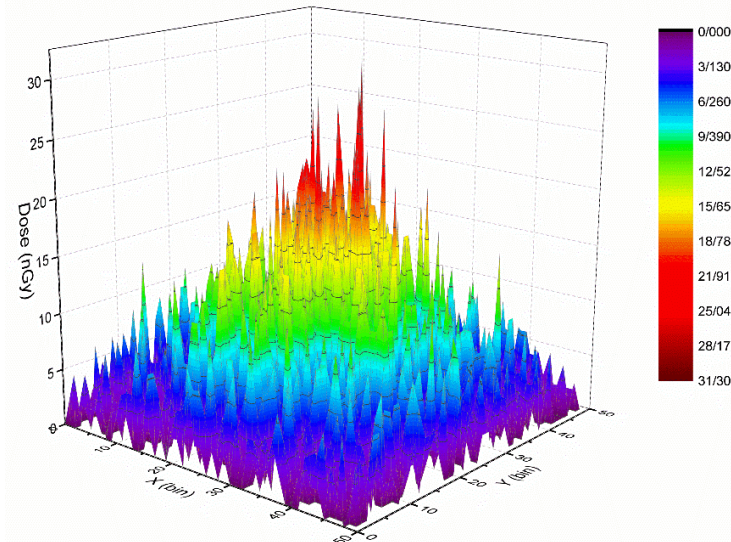
(ج)

شکل ۴-۱۱: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح مس

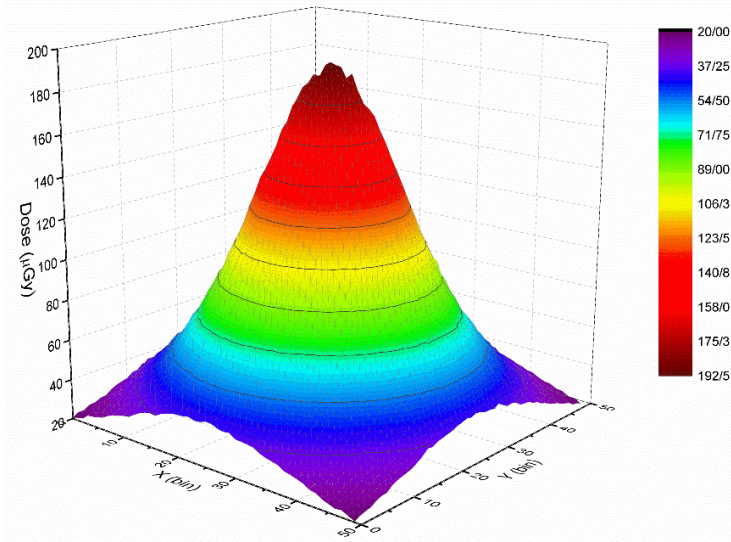
(ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{60}Co



(الف)



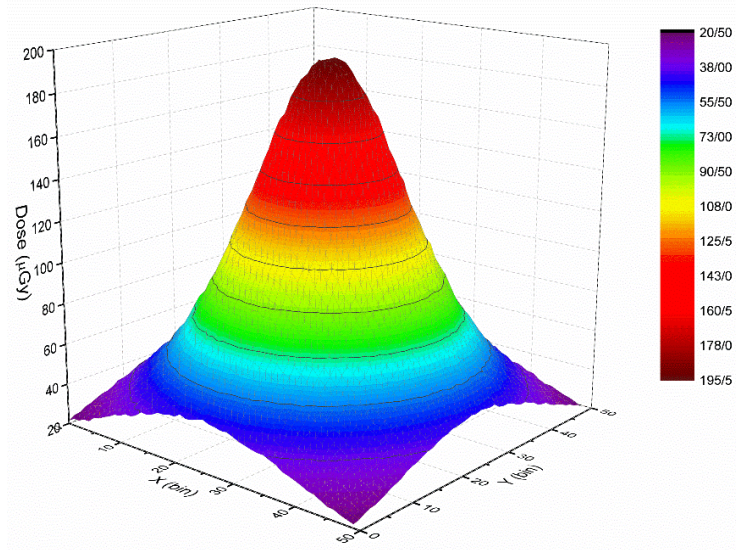
(ب)



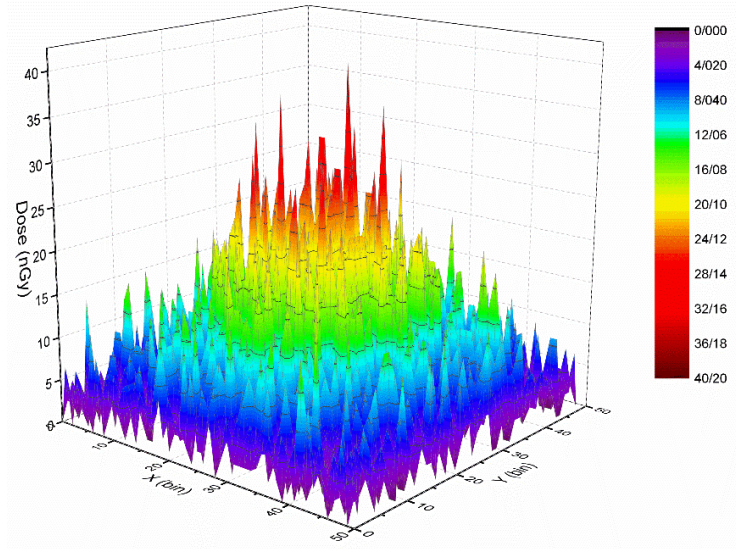
(ج)

شکل ۴-۱۲: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح مس

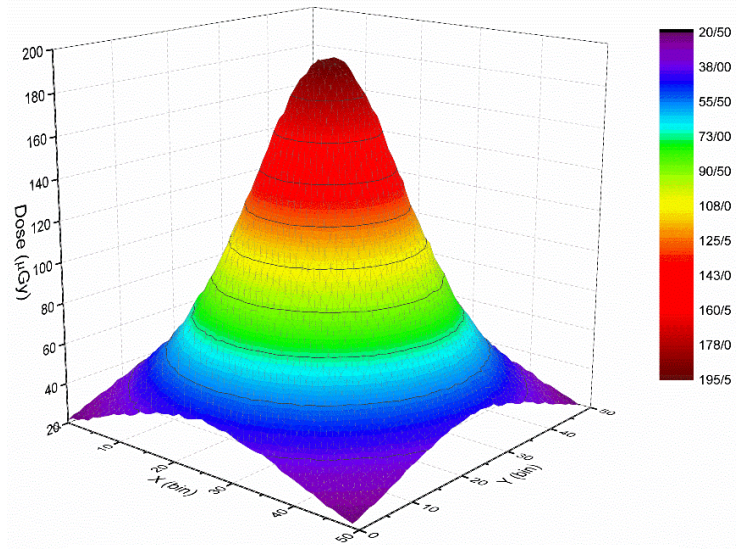
(ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{137}Cs



(الف)



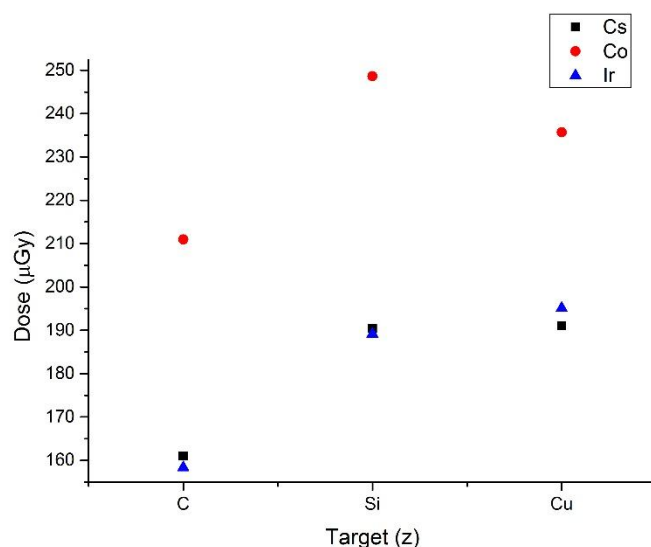
(ب)



(ج)

شکل ۴-۱۳: (الف) مقدار کل دز جذب شده بر روی سطح مس

(ب) دز ناشی از گاما (ج) دز ناشی از بتا با استفاده از ^{192}Ir



شکل ۴-۱۴: مقدار کل دز جذب شده در مرکز نمونه‌های تابش دیده شده با

چشمه‌های ^{60}Co و ^{137}Cs و ^{192}Ir به ترتیب عدد اتمی

با توجه به اشکال مربوط به محاسبه‌ی دز، مشخص است که دز جذب شده در ماده از مرتبه‌ی μGy است و در مرکز هدف که نزدیکترین فاصله به چشمه را دارد، بیشترین دز دریافت شده است. یادآوری می‌شود که دز جذب شده بر روی شبکه محاسبه شده است. شبکه نیز بر روی سطح ماده با ضخامت $1\ \mu\text{m}$ تعریف شده است.

در شکل ۴-۱۴ مقدار دز جذب شده در مرکز نمونه‌های مس، کربن و سیلیسیوم، توسط چشمه‌های ^{60}Co و ^{137}Cs و ^{192}Ir مقایسه شده است. با توجه به اینکه برهم‌کنش پرتوهای گاما بسیار کمتر از پرتوهای بتایی است، دز حاصل از ذرات بتایی اهمیت بیشتری در مقدار دز جذب شده دارد. مقدار دز دریافتی در هر نمونه از طریق چشمه‌ی ^{60}Co بیشتر از چشمه‌ی ^{137}Cs و ^{192}Ir است که به علت کمتر بودن انرژی ذرات بتا و در نتیجه، متوقف شدن بیشتر ذرات در سطح است. با استفاده از چشمه‌ی ^{60}Co ، سیلیسیوم بیشترین دز را نسبت به نمونه‌های دیگر دریافت کرده است. در ادامه به بررسی علل آن می‌پردازیم.

توان توقف به صورت میانگین اتلاف انرژی بر مسافت طی شده تعریف می‌شود. توان توقف برای

ذرات بتا با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود [۵].

$$\frac{dE}{dx} (MeV / m) = 4\pi r_0^2 \frac{mc^2}{\beta^2} NZ \left\{ \ln \left(\frac{\beta\gamma\sqrt{\gamma-1}}{I} mc^2 \right) + \frac{1}{2\gamma^2} \left[\frac{(\gamma-1)^2}{8} + 1 - (\gamma^2 + 2\gamma - 1) \ln 2 \right] \right\}$$

(۱-۴)

که در آن r_0 شعاع کلاسیک الکترون، mc^2 انرژی جرم سکون الکترون، $\gamma = \frac{(T+mc^2)}{mc^2}$ که

T انرژی جنبشی، $\beta = v/c$ ، c سرعت نور و v سرعت بتا، N چگالی هسته‌های هدف در واحد حجم، برای ماده‌ای که ذره در آن حرکت می‌کند، Z عدد اتمی ماده و I پتانسیل بر انگیزش متوسط ماده‌ی هدف است.

برای چشمه‌ی ^{60}Co ، انرژی بیشینه‌ی ذرات بتا 0.313 MeV است. توان توقف برای این ذرات

در نمونه‌های کربن، سیلیسیم و مس به ترتیب برابر با 0.416 MeV/m ، 0.436 و $1/425$ است. برای

ذرات بتای چشمه‌ی ^{137}Cs با انرژی بیشینه 0.514 MeV ، توان توقف برابر 0.365 MeV/m ، 0.387 و

$1/26$ خواهد بود. برای چشمه‌ی ^{192}Ir نیز برای بتاهایی با انرژی بیشینه 0.539 MeV ، توان توقف برابر

0.364 MeV/m ، 0.385 و $1/261$ و برای بتاهایی با انرژی بیشینه 0.675 MeV ، توان توقف برابر

0.348 MeV/m ، 0.369 و $1/21$ محاسبه می‌شود.

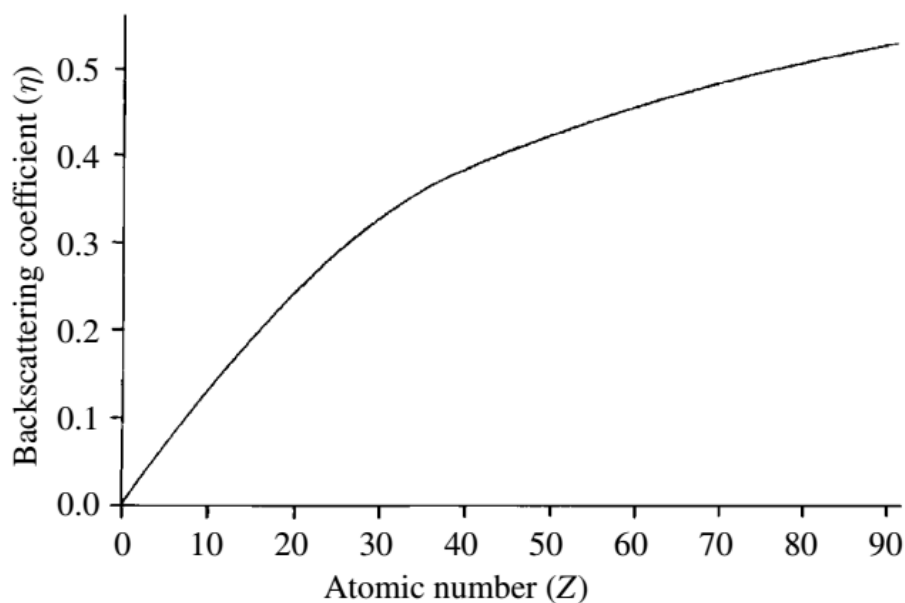
با افزایش عدد اتمی، محیط برای ذرات بتا توان توقف بیشتری خواهد داشت و این ذرات انرژی

بیشتری در سطح هدف باقی می‌گذارند، که باعث مقدار دز جذب شده کمتر در نمونه کربن در مقایسه

با سایر نمونه‌ها می‌شود. در حالی که مس دارای عدد اتمی بیشتری نسبت به سیلیسیم است، مقدار دز

جذب شده حاصل از چشمه‌ی ^{60}Co در نمونه‌ی سیلیکون از مس بیشتر است، که علت آن پس پراکندگی

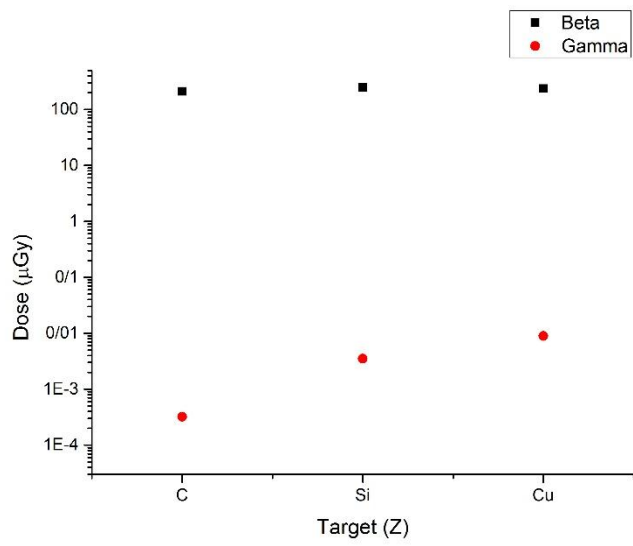
بیشتر در مس است. همانطور که در شکل ۴-۱۵ نشان می‌دهد، هرچه عدد اتمی افزایش پیدا کند،



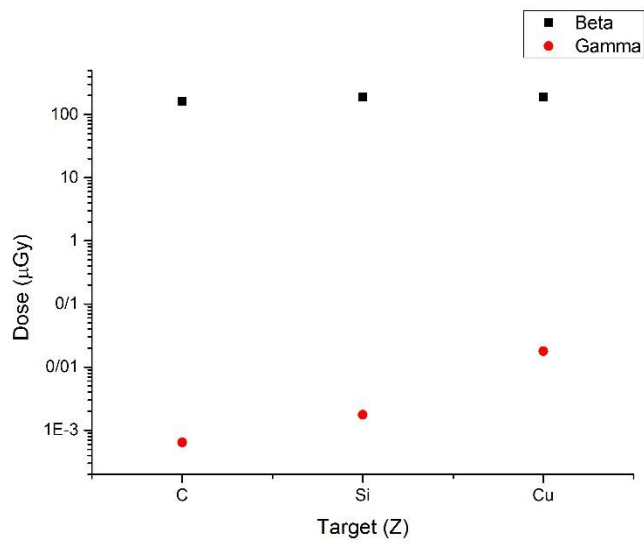
شکل ۴-۱۵: ضریب پس پراکندگی بر حسب عدد اتمی [۳۲]

ضریب پس پراکندگی نیز افزایش پیدا می‌کند. ضریب پس پراکندگی، سهمی از الکترون‌های برخورد کرده است که هدف را ترک می‌کند. در نتیجه تعداد ذراتی که باعث انتقال دز به نمونه می‌شوند، کاهش می‌یابد [۳۲].

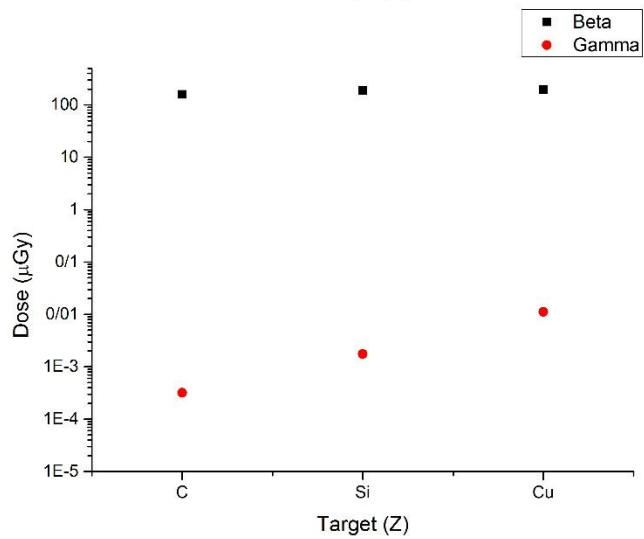
شکل ۴-۱۶ تابش‌های گاما و بتای حاصل از چشمه‌های رادیو اکتیو را مقایسه می‌کند. در این نمودار مقدار دز جذب شده به صورت لگاریتمی رسم شده است. همانطور که از شکل مشخص است، تابش بتا سهم بیشتری در دز جذب شده دارد. مقدار دز جذب شده با استفاده از تابش گاما با افزایش عدد اتمی افزایش می‌یابد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴-۱۶: مقدار دز جذب شده در مرکز نمونه‌های کربن، سیلیسیوم و مس توسط

تابش‌های گاما و بتای حاصل از چشمه رادیواکتیو (الف) ^{60}Co (ب) ^{137}Cs (ج) ^{192}Ir

۴-۵ اندازه گیری اکتیویته

برای اینکه تعداد واپاشی‌ها و تعداد پرتوهای گسیل شده از چشمه به ازای واحد زمان مشخص شود باید اکتیویته‌ی چشمه با دقت خوبی تعیین شود. برای به دست آوردن اکتیویته یک چشمه رادیواکتیو با دقت زیاد می‌توان از آشکارسازها استفاده کرد. تعیین اکتیویته می‌تواند با ثبت تعداد فوتون‌های آشکار شده در زمان مشخص به دست آید. اگر بازدهی آشکارساز برای این فوتون‌ها ε باشد، اکتیویته‌ی چشمه با معادله‌ی زیر به دست می‌آید [۳۳].

$$A = \frac{R}{\varepsilon B} \quad (۲-۴)$$

که در آن R تعداد فوتون‌های آشکار شده به ازای واحد زمان، B نسبت انشعابی و ε بازدهی کل آشکارساز است.

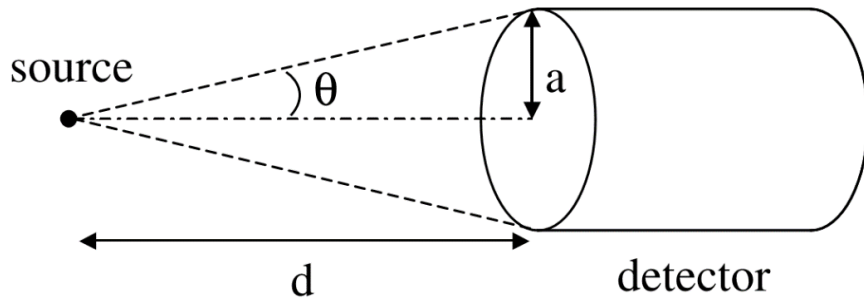
غالباً نمودار واپاشی هسته‌ها پیچیده و شامل مدهایی است که می‌توانند با یکدیگر رقابت کنند. شدت نسبی هر مد را نسبت انشعابی گفته می‌شود. بازدهی کل ε می‌تواند به بخش‌های توزیع فضایی و بازدهی قله آشکارساز تقسیم شود. برای به دست آوردن اکتیویته باید این دو مورد و تعداد فوتون‌های آشکار شده مشخص شوند.

۴-۵-۱ توزیع فضایی

برای یک آشکارساز دلخواه و چشمه‌ی نقطه‌ای همسانگرد توزیع فضایی می‌تواند با تقسیم زاویه‌ی فضایی آشکارساز برای چشمه بر 4π به دست آید.

$$\varepsilon_{geo} = \frac{1}{4\pi} \int d\Omega = \frac{1}{4\pi} \int_A \frac{\vec{r} \cdot \vec{n}}{r^3} dA \quad (۳-۴)$$

که در آن \vec{n} بردار یکه عمود بر سطح آشکارساز در هر نقطه و \vec{r} برداری است که چشمه‌ی نقطه‌ای را به المان گرفته شده به مساحت dA متصل می‌کند. برای یک آشکارساز استوانه‌ای با پنجره‌ای به شعاع



شکل ۴-۱۷: زاویه‌ی فضایی آشکارساز استوانه‌ای برای چشمه‌ی نقطه‌ای که در فاصله d قرار گرفته است

a و چشمه‌ی نقطه‌ای که در فاصله‌ی d از آشکارساز قرار گرفته است، زاویه‌ی فضایی می‌تواند به صورت شکل صفحه‌ی بعد به دست آید (شکل ۴-۱۷ را ببینید).

$$\Delta\Omega = \int_0^{2\pi} d\phi \int_{\cos\theta}^1 d(\cos\theta') = 2\pi(1 - \cos\theta) \quad (۴-۴)$$

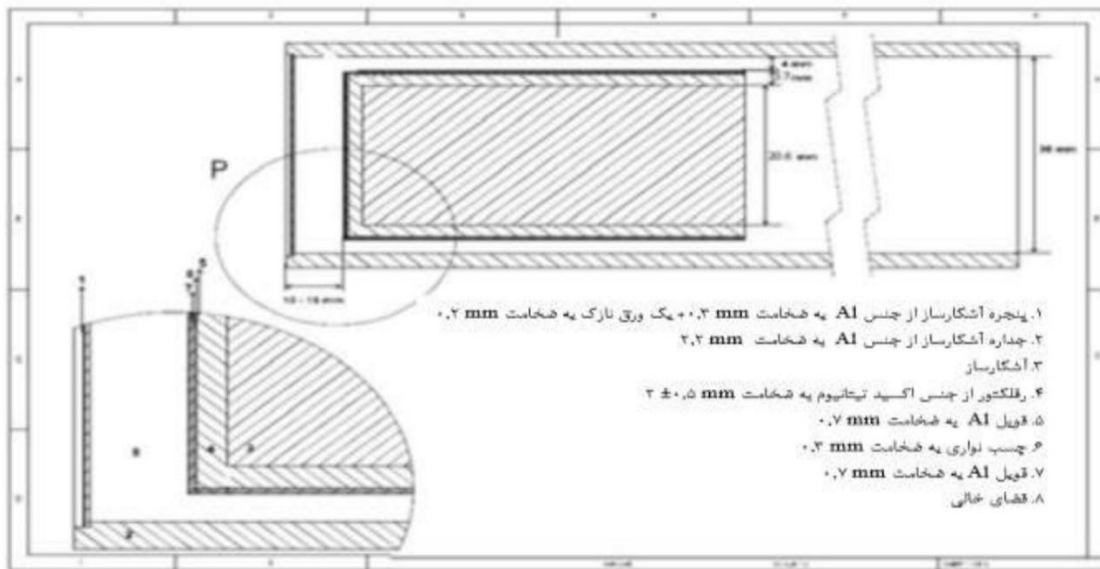
که در آن $\tan\theta = \frac{a}{d}$ و $\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{\tan^2\theta + 1}} = \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}}$ است و توزیع فضایی به صورت زیر به دست می‌آید [۳۴]:

$$\varepsilon_{geo} = \frac{\Delta\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{\sqrt{a^2 + d^2}}\right) \quad (۵-۴)$$

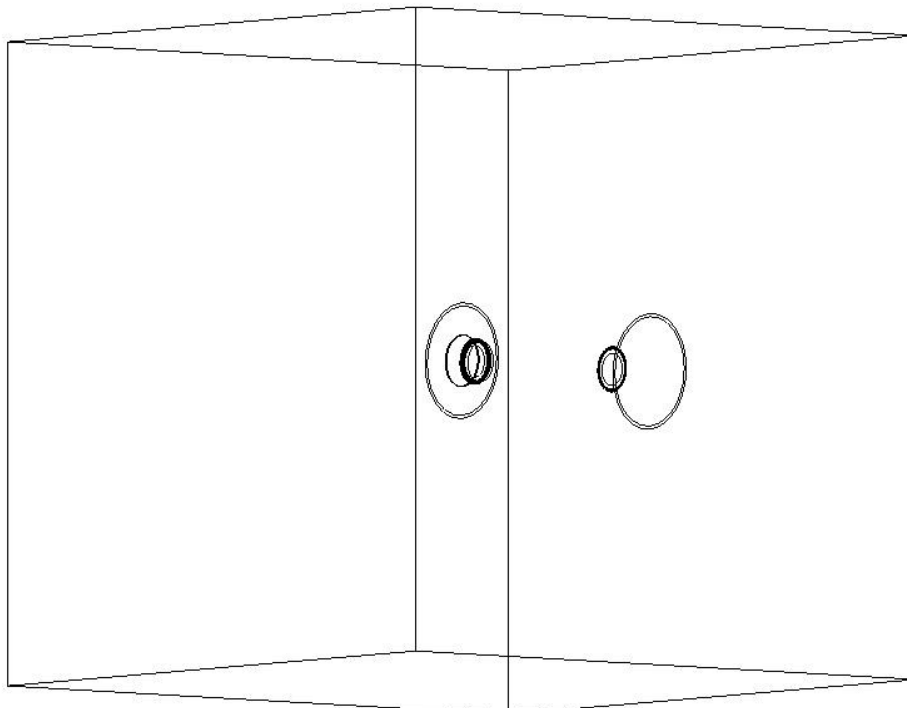
۴-۵-۲ بازدهی قله در آشکارساز

بازدهی قله در آشکارساز به تعداد رویدادهای آشکار شده در قله و به تعداد کل رویدادهایی که به آشکارساز رسیده است برمی‌گردد. بازدهی قله به چندین متغیر مثل انرژی گاما، مشخصات آشکارساز و مکان نسبی آشکارساز بستگی دارد. برای به دست آوردن بازدهی قله از کد شبیه‌سازی Geant4 استفاده می‌شود. در این شبیه‌سازی از آشکارساز موجود در آزمایشگاه دانشگاه استفاده شده است. این آشکارساز دارای بلور سزیوم یدید CsI به ابعاد 11×2 cm است. اطراف بلور ماده منعکس کننده اکسید تیتانیوم، TiO_2 ، به ضخامت $2/5$ mm قرار داده شده است که به فویل آلومینیومی به ضخامت $0/7$ mm چسبیده است. این اطلاعات از شرکت سازنده آشکارساز CsI(Tl)، شرکت نوین طیف که در شکل ۴-۱۸

آمده است، استخراج شده است. در شکل ۴-۱۹ نیز شبیه سازی انجام شده با کد Geant4 نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۸: اطلاعات آشکارساز CsI(Tl) مورد استفاده در دانشگاه صنعتی شاهرود



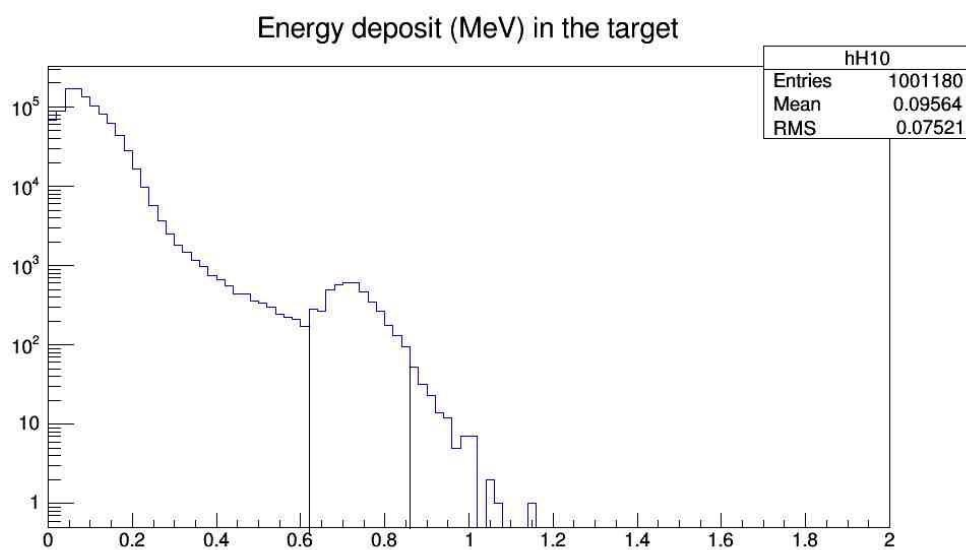
شکل ۴-۱۹: نمایی از شبیه سازی آشکارساز با استفاده از کد Geant4

چشمه در این شبیه سازی در فاصله‌ی ۵ cm از پنجره‌ی آشکارساز قرار داده شد. تعداد کل واپاشی‌ها برای شبیه سازی 10^6 ذره تعیین شد. خروجی هیستوگرام انرژی ذخیره شده در بلور CsI است و نوع خروجی به صورت فایل Root [۳۵] خواهد بود. این هیستوگرام با استفاده از نرم افزار Root قابل مشاهده خواهد بود. شکل ۴-۲۰ هیستوگرام به دست آمده از شبیه سازی را نشان می‌دهد. ناحیه‌ی قله در شکل ۴-۲۰ مشخص شده است. براساس این طیف انرژی، بازدهی قله می‌تواند با تعداد رویدادهایی که در ناحیه‌ی قله قرار گرفته‌اند، N_{peak} ، بر تعداد کل رویداد، N_{tot} ، محاسبه شود.

$$\varepsilon_{peak} = \frac{N_{peak}}{N_{tot}} \quad (۴-۶)$$

تعداد کل رویدادها در ناحیه‌ی قله با استفاده از نرم افزار Root، ۴۳۱۰ رویداد به دست آمد. با استفاده از معادله ۴-۶، ε_{peak} برابر $4/31 \times 10^{-3}$ خواهد شد.

با توجه به دو بخش اخیر برای به دست آوردن اکتیویته، تنها پارامتر باقیمانده، تعداد فوتون‌های رسیده به آشکارساز است. با توجه به تعطیل بودن آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای به علت تعمیرات از به دست آوردن اکتیویته با دقت بالا صرف نظر شد.



شکل ۴-۲۰: هیستوگرام انرژی ذخیره شده در بلور CsI با استفاده از چشمه ^{137}Cs

فصل پنجم

آزمایش و نتایج مربوط به تهیه نانوساختارها

در این فصل می‌خواهیم با استفاده از تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو نانوساختارها را بر روی سطوح فلزی رشد دهیم. با توجه به اینکه عددهای اتمی مس و روی تقریباً برابر است، نتایج به دست آمده از این دو تقریباً برابر خواهد بود. در این فصل، آزمایش‌ها تنها برای مس انجام می‌شود.

۵-۱ آماده سازی نمونه

نمونه‌های مس در ابعاد 1×1 cm و با ضخامت 1 mm تهیه شد. مس به طور معمول دارای سطح اکسید شده است. برای رسیدن به سطح مس اکسید نشده، مس پولیش داده شد. این کار هم باعث برداشته شدن لایه‌ی اکسید شده و هم، مسطح شدن بیشتر مس می‌شود برای اکسید نشدن دوباره مس، آن را در الکل گذاشته و با منیزیم، حفاظت کاتدی کردیم.

۵-۲ شرح آزمایش

برای آنکه تأثیر تابش و دما را بر رشد نانوساختارها بررسی کنیم، آزمایش در چهار مرحله طراحی شد. در هر مرحله دو نمونه استفاده شد. جدول ۵-۱ مشخصات هر نمونه را نشان می‌دهد. در هر مرحله، یک نمونه در مرکز دستگاه قرار گرفت. ماده‌ی رادیواکتیو نیز در ارتفاع 0.5 cm از نمونه قرار داده شد. یک نمونه نیز در کنار نمونه‌ی اول به عنوان نمونه‌ی شاهد قرار داده شد. برای آن که نمونه‌ی شاهد دز کمتری از ماده‌ی رادیواکتیو دریافت کند، از یک حلقه از جنس آلومینیوم در اطراف ماده‌ی رادیواکتیو و نمونه‌ی اول استفاده شد. شکل ۵-۱ نمایی از دستگاه استفاده شده و نحوه‌ی قرارگیری نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

پس از آماده سازی و بستن محفظه، با فلاش کردن گاز نیتروژن به داخل محفظه و خارج کردن آن، هوای محفظه خارج می‌شود. پس از پرتودهی، با فلاش کردن گاز نیتروژن توسط گاز اکسیژن، زمینه برای رشد نانوساختارها فراهم می‌شود. در مراحل‌ی که نمونه حرارت داده شد، پس از پرتودهی، همزمان

با وارد شدن گاز اکسیژن، دما نیز افزایش داده شد. این نمونه‌ها تا پایان زمان آزمایش در دمای 100°C

قرار داده شد. نوسانات دمایی دستگاه بین 98°C تا 102°C بود

مرحله	کد نمونه	نوع تابش	زمان تابش (ساعت)	دما (درجه سانتیگراد)	زمان در نظر گرفته شده برای رشد نانوساختارها (ساعت)
مرحله اول	GH05	چشمه نقطه‌ای	۱۱	۲۰	۴
	GH11	شاهد*	-	۲۰	۴
مرحله دوم	GH13	چشمه مسطح	۴	۲۰	۳
	GH20	شاهد	-	۲۰	۳
مرحله سوم	GH08	چشمه نقطه‌ای	۱۱	۱۰۰	۴
	GH02	شاهد	-	۱۰۰	۴
مرحله چهارم	GH15	چشمه مسطح	۴	۱۰۰	۳
	GH26	شاهد	-	۱۰۰	۳
نمونه پولیش خورده**	GH01	-	-	-	-
	GH07	-	-	-	-

جدول ۵-۱: مشخصات نمونه‌های گرفته شده

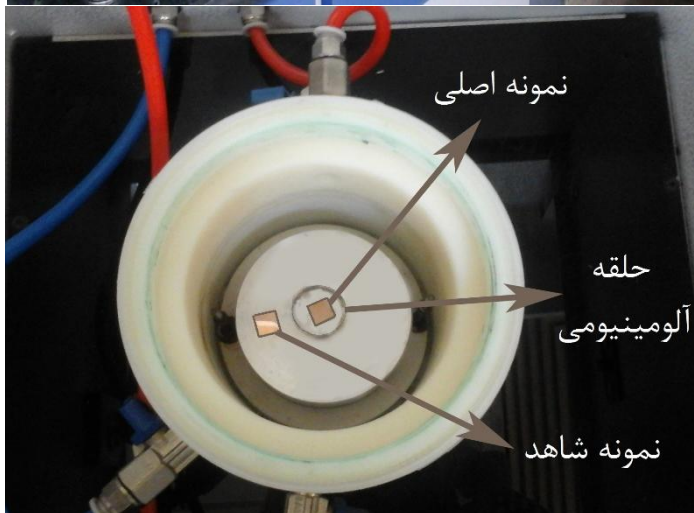
*نمونه‌هایی که در کنار نمونه‌های اصلی در شرایط دمایی و جو مشابه قرار داشته‌اند اما بدون دریافت

تابش (شکل ۵-۱).

**نمونه‌هایی که در معرض تابش، دما و اکسیژن نبوده و فقط پولیش خورده‌اند.



(الف)



(ب)

شکل ۵-۱: (الف) نمایی از دستگاه استفاده شده (ب) نحوه‌ی قرارگیری نمونه‌ها

چشمه‌های استفاده شده در آزمایش، یک چشمه‌ی نقطه‌ای ^{137}Cs با اکتیویته $5\ \mu\text{Ci}$ و یک چشمه‌ی مسطح ^{137}Cs با اکتیویته $100\ \mu\text{Ci}$ بود. چشمه‌ی مسطح با اینکه دارای اکتیویته‌ی بالایی است ولی با داشتن یک لایه‌ی آلومینیومی، بتای کمتری از آن گسیل می‌شود. از نتایج فصل گذشته صرفاً جهت برآورد اکتیویته‌ی مورد نیاز و زمان تابش‌دهی استفاده شده است.

۳-۵ تحلیل نمونه‌ها

برای تحلیل نمونه‌های گرفته شده از آن‌ها تصویر SEM گرفته شد. برای این کار، برای بهبود وضوح تصاویر، نمونه‌ها به روش انباشت فیزیکی بخار (PVD) با طلا لایه‌نشانی شد. نام دستگاهی که برای این کار انجام گرفته است، Sputter Coater، و مدل دستگاه SBC12 است. شکل ۲-۵ نمایی از این دستگاه را نشان می‌دهد. لایه‌های تشکیل شده بر روی مس حدود 100°A می‌باشند. این لایه‌ی تشکیل شده، تأثیری روی ساختارها و تصاویر به دست آمده نخواهد داشت.



شکل ۲-۵: نمایی از دستگاه لایه‌نشانی استفاده شده

تصاویر با میکروسکوپ الکترونی SEM، ساخت شرکت KYKY و مدل EM3200 گرفته شده

است. مختصاتی که زیر عکس‌های گرفته شده وجود دارد، به ترتیب از چپ به راست عبارتند از:

۱- ولتاژ شتاب دهنده الکترون: بیشینه‌ی ولتاژی که توسط میکروسکوپ مورد استفاده قرار

می‌گیرد، ۳۰ kV می‌باشد.

۲- بزرگ‌نمایی

۳- عدد و خط افقی که در طرف راست آن قرار دارد: با استفاده از آن و یک تناسب ساده

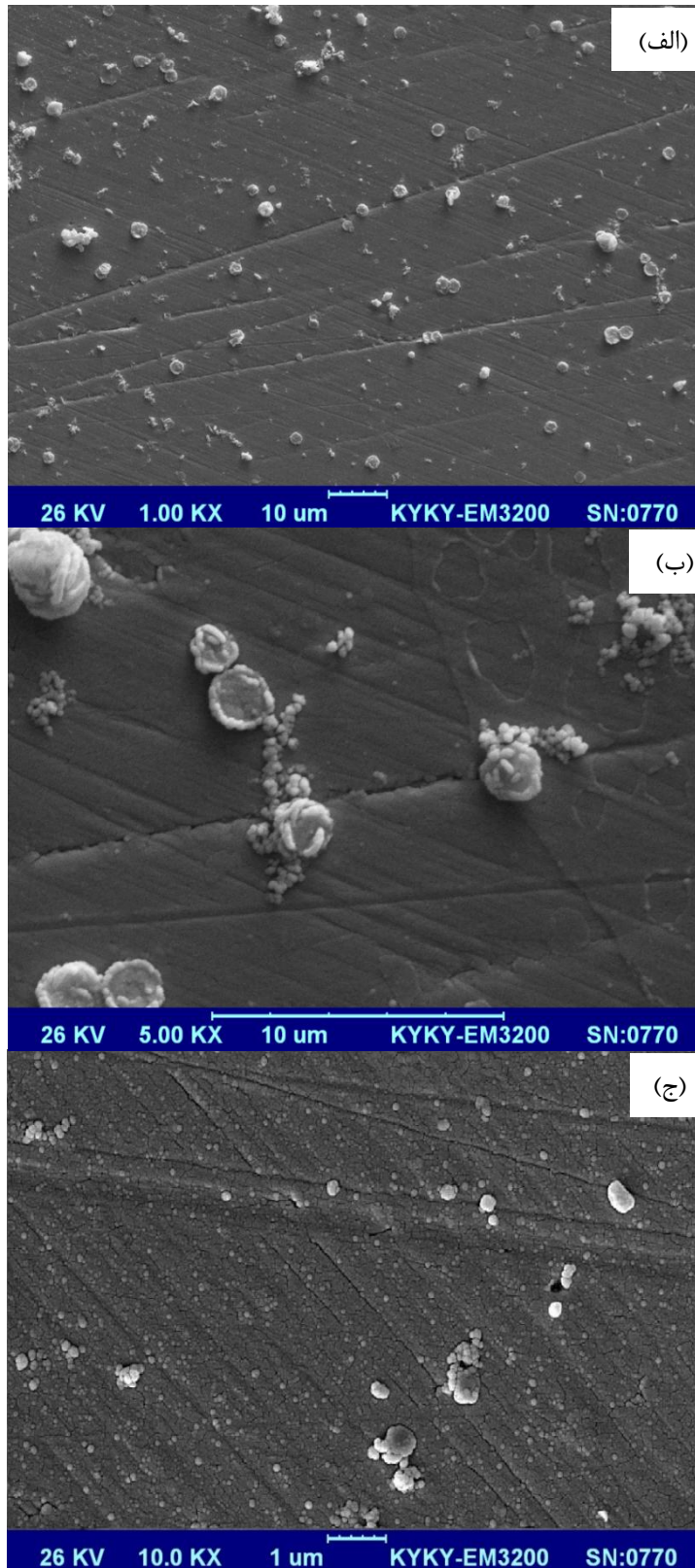
می‌توان اندازه‌ی ذره‌ی خاص را برآورد کرد.

۴- مدل دستگاه استفاده شده

شکل‌های ۳-۵ تا ۱۱-۵، تصاویر SEM گرفته شده از نمونه‌ها است. در هر مورد (الف)

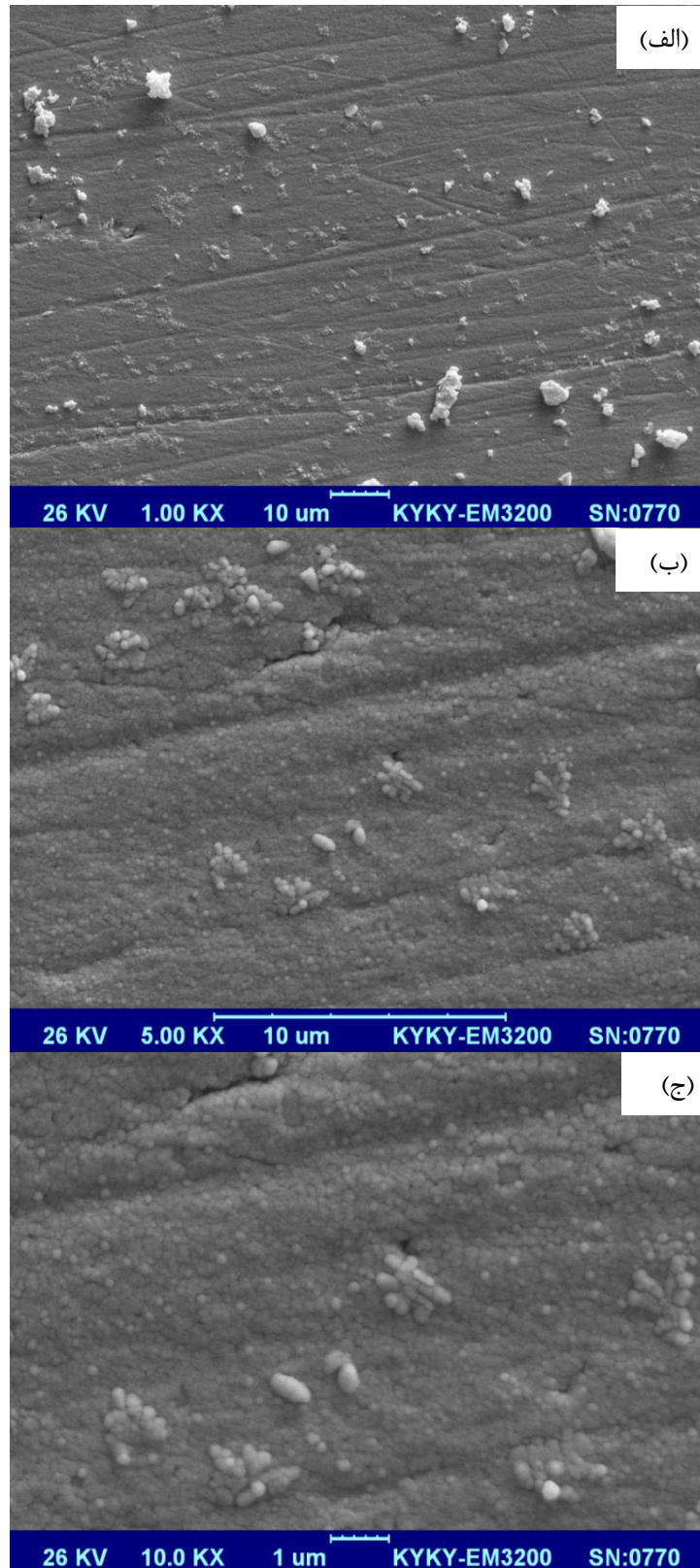
دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX

است.

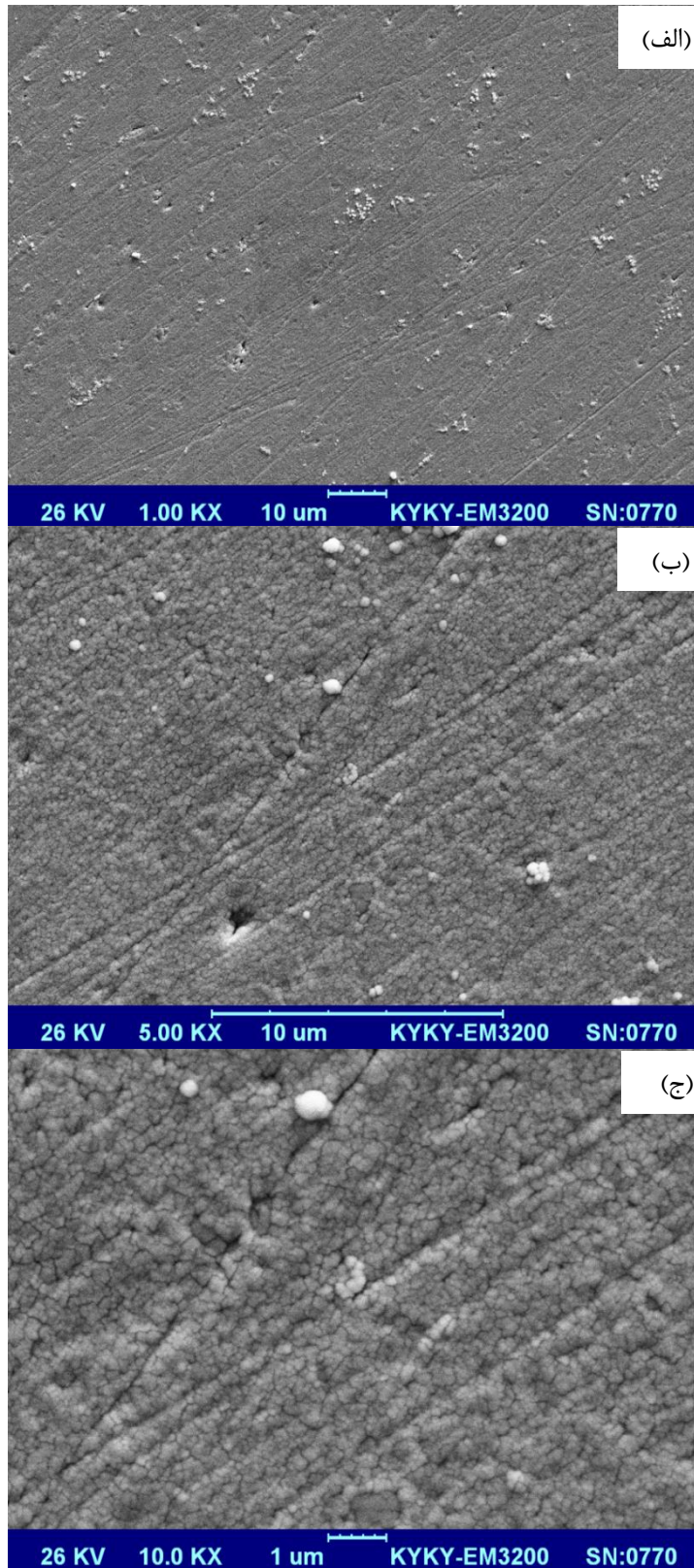


شکل ۵-۳: عکس‌های نمونه‌ی کد GH01، نمونه‌ی پولیش خورده، (الف) دارای

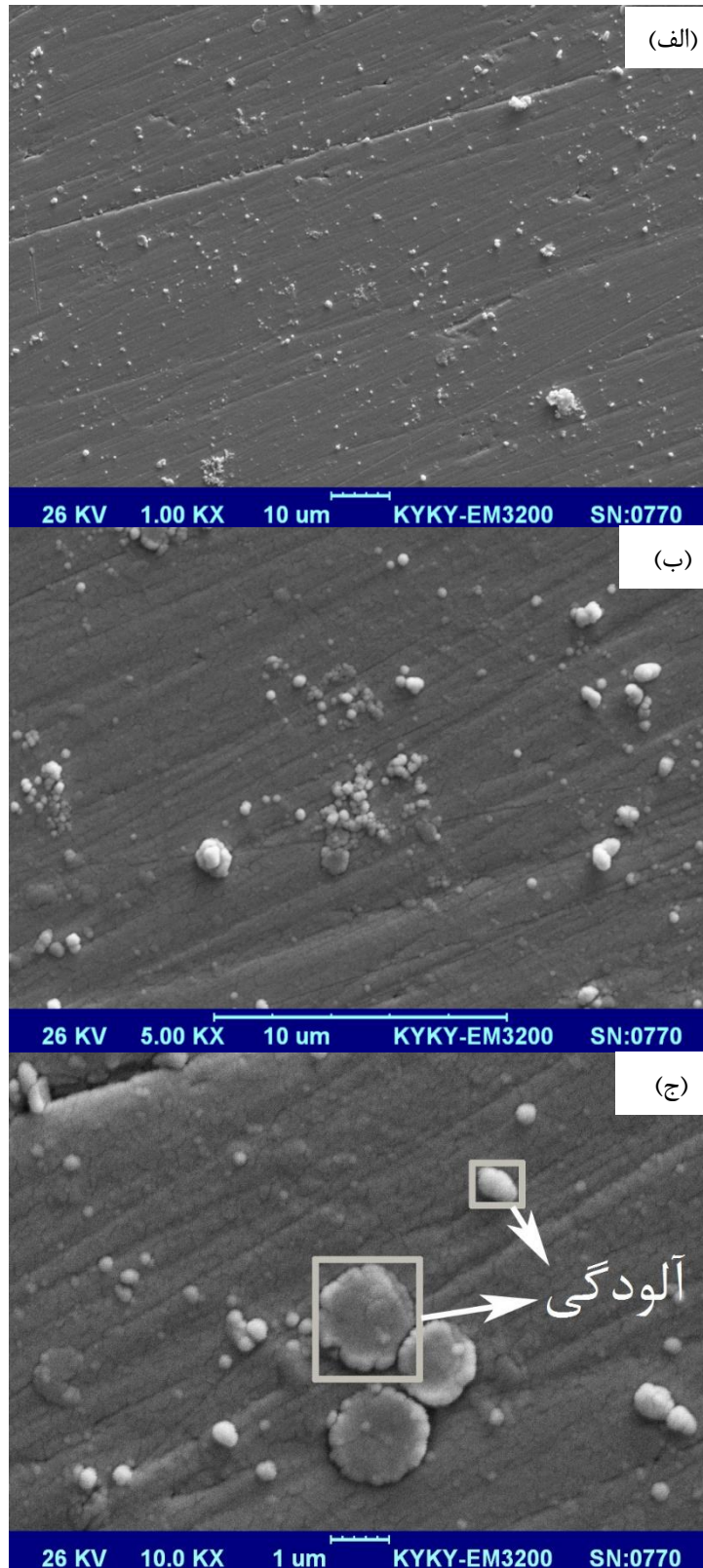
بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX



شکل ۴-۵: عکس‌های نمونه‌ی کد GH02، نمونه‌ی شاهد چشمه‌ی نقطه‌ای در دمای 100°C ، (الف) دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX

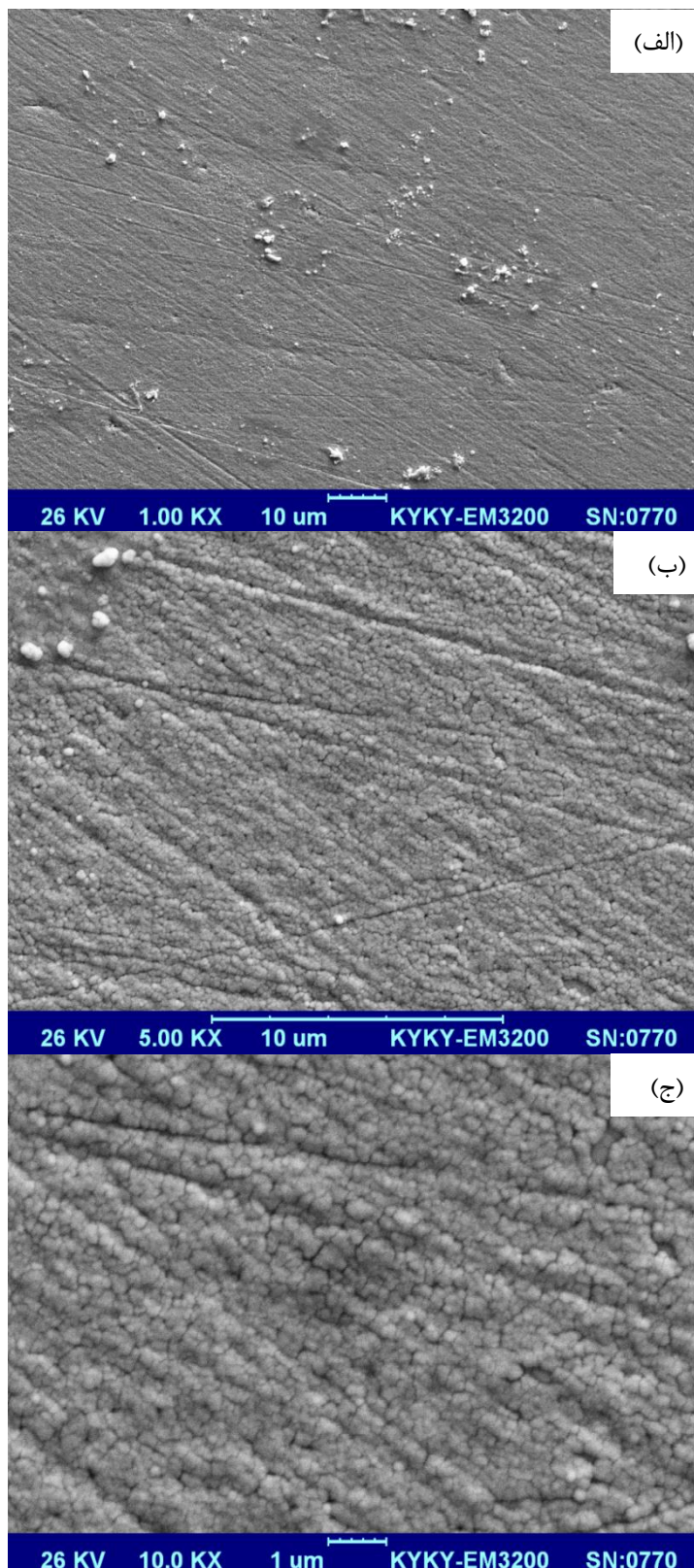


شکل ۵-۵: عکس‌های نمونه‌ی کد GH05، نمونه‌ی تابش دیده با چشمه‌ی نقطه‌ای در دمای اتاق، (الف) دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX



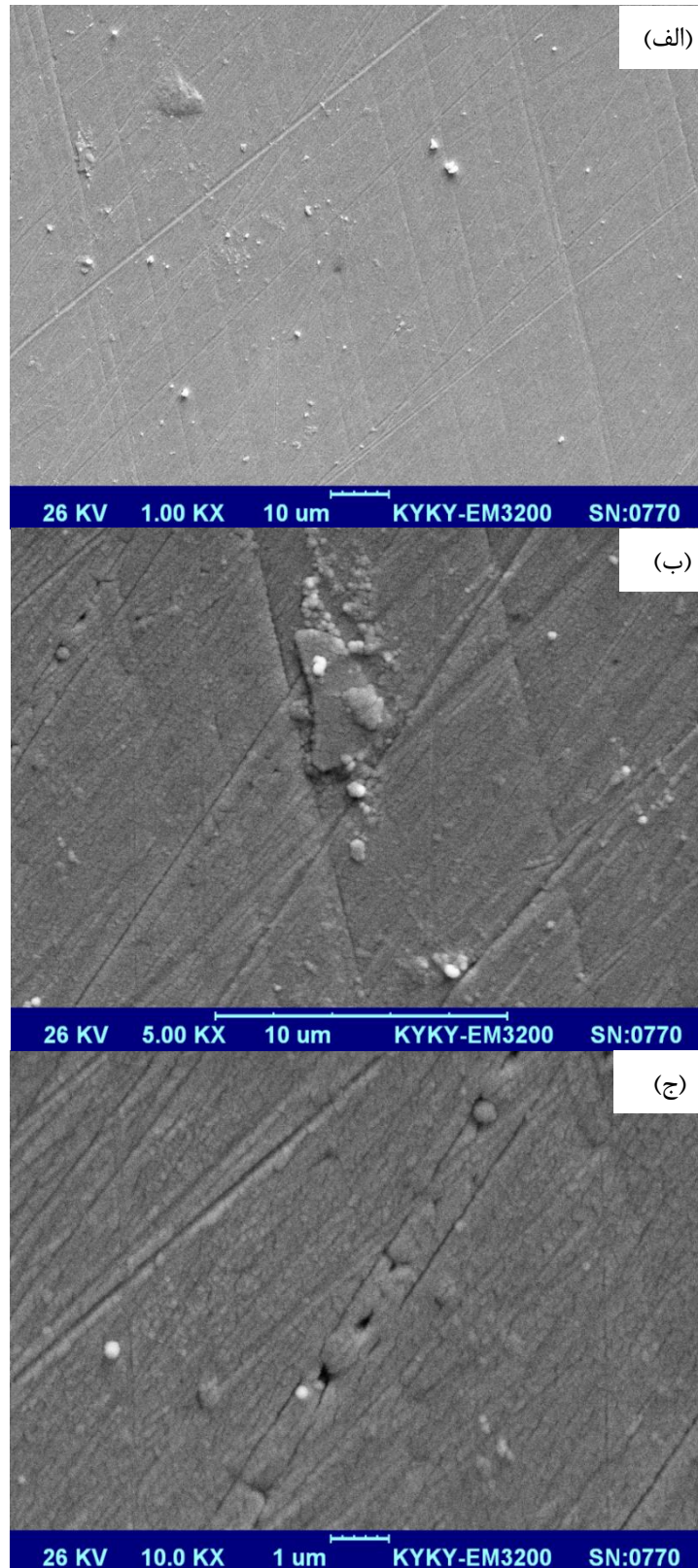
شکل ۵-۶: عکس‌های نمونه‌ی کد GH07، نمونه‌ی پولیش خورده، (الف) دارای

بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX



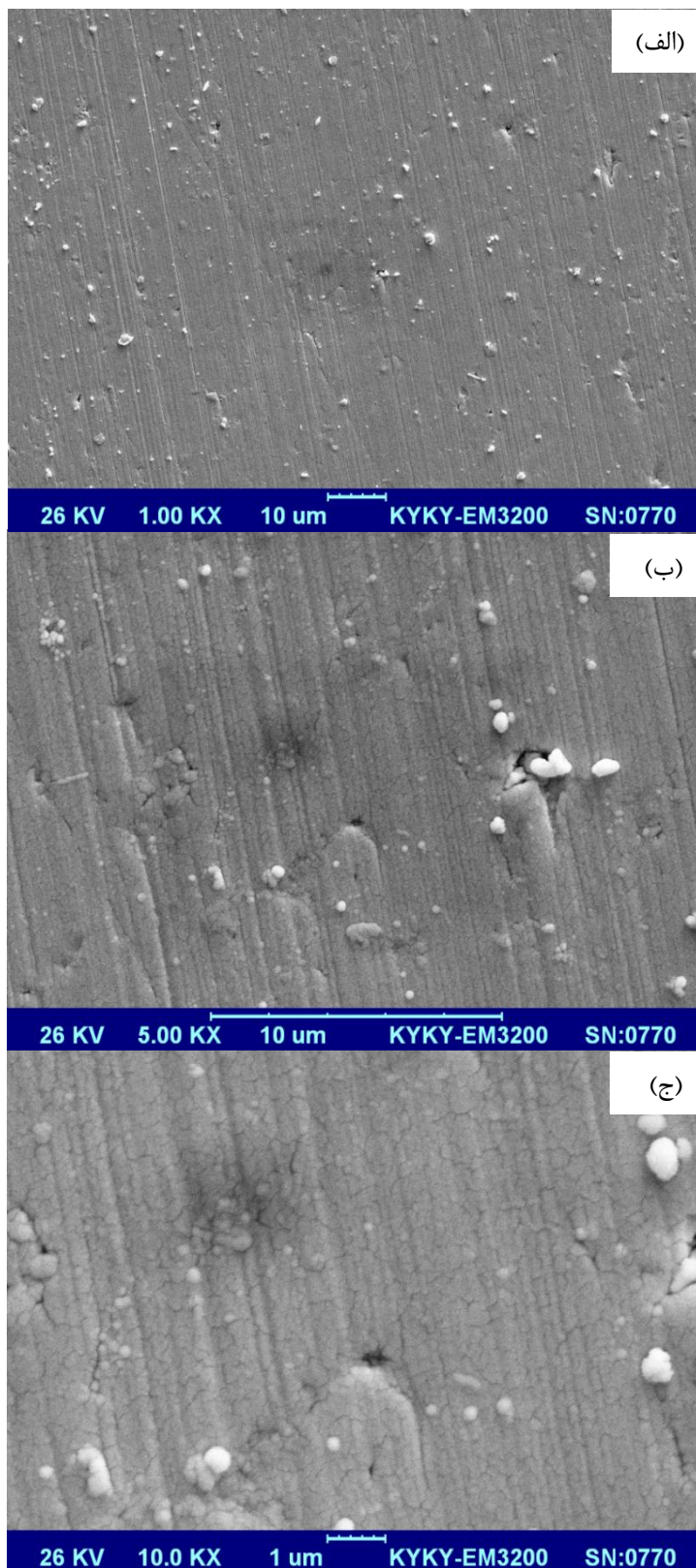
شکل ۵-۷: عکس‌های نمونه‌ی کد GH08، نمونه‌ی تابش دیده با چشمه‌ی نقطه‌ای در دمای 100°C .

(الف) دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX



شکل ۵-۸: عکس‌های نمونه‌ی کد GH11، نمونه‌ی شاهد چشمه‌ی نقطه‌ای در دمای اتاق، (الف)

دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX

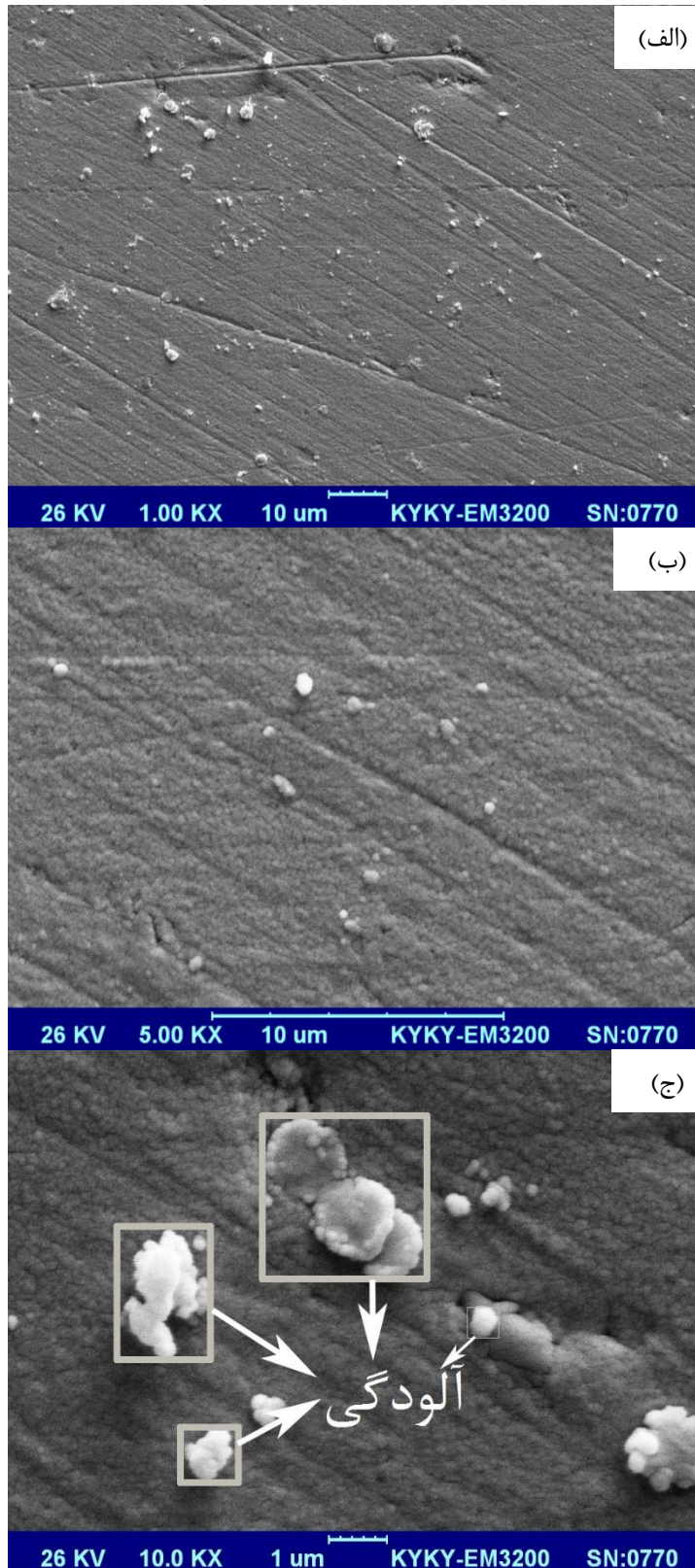


شکل ۵-۹: عکس‌های نمونه‌ی کد GH13، نمونه‌ی تابش دیده با چشمه‌ی مسطح در دمای اتاق، (الف) دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX



شکل ۵-۱۰: عکس‌های نمونه‌ی کد GH15، نمونه‌ی تابش دیده با چشمه‌ی مسطح در دمای 100°C ،

(الف) دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX



شکل ۵-۱۱: عکس‌های نمونه‌ی کد GH26، نمونه‌ی شاهد چشمه‌ی مسطح در دمای 100°C .

(الف) دارای بزرگ‌نمایی ۱ kX، (ب) دارای بزرگ‌نمایی ۵ kX و (ج) دارای بزرگ‌نمایی ۱۰ kX

دانه‌های بزرگی که بر روی تمام تصاویر دیده می‌شود (به عنوان مثال نواحی مشخص شده در شکل‌های ۵-۶ قسمت (ج) و ۵-۱۱ قسمت (ج))، می‌تواند آلودگی‌هایی باشد که بر روی سطح مس نشسته است. اگر از این آلودگی‌ها صرف نظر کنیم، از مقایسه‌ی نمونه‌های شاهد و پولیش خورده یعنی شکل ۵-۳ قسمت (ج) (نمونه‌ی پولیش خورده، بدون تابش و بدون قرار گرفتن در شرایط رشد با کد GH01) که انتظار می‌رود سطح مس فلزی را نشان دهد، با شکل ۵-۸ قسمت (ج) (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای اتاق، با کد GH11)، اثر اکسید شدن سطح مس و تغییر در مورفولوژی سطح مشاهده می‌شود. همین نتیجه را می‌توان از مقایسه‌ی شکل‌های ۵-۸ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای اتاق، با کد GH11) با شکل ۵-۶ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی پولیش خورده، بدون تابش و بدون قرار گرفتن در شرایط رشد با کد GH07) نیز به دست آورد.

اگر شکل ۵-۵ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی تابش گرفته با رشد در دمای اتاق با کد GH05) را با شکل‌های ۵-۸ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای اتاق، با کد GH11) مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود که با تابش‌های حاصل از چشمه‌ی رادیواکتیو، مورفولوژی و دانه‌بندی سطح تغییر کرده است. اگر شکل ۵-۱۱ قسمت (ب) (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای بالا، با کد GH26) را با شکل ۵-۸ قسمت (ب) (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای اتاق، با کد GH11) مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود که با حرارت دادن نمونه نیز مورفولوژی و دانه‌بندی سطح تغییر کرده است. همین نتیجه را می‌توان با مقایسه‌ی شکل ۵-۴ قسمت (ب) و (ج)، (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای بالا، با کد GH02) با شکل‌های ۵-۸ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای اتاق، با کد GH11) گرفت.

با مقایسه‌ی شکل‌های ۵-۷ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی تابش دیده با رشد در دمای بالا، با کد GH08) و شکل‌های ۵-۸ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی شاهد بدون تابش با رشد در دمای اتاق، با کد GH11) تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی با استفاده از حرارت و تابش مشاهده می‌شود.

اگر شکل ۵-۷ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی تابش دیده با رشد در دمای بالا، با کد GH08) را با شکل ۵-۹ قسمت (ب) و (ج) (نمونه‌ی تابش دیده با رشد در دمای اتاق، با کد GH13) مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود که در اثر دما، مورفولوژی و دانه‌بندی سطح تغییرات بیشتری داشته است.

برای تعیین نوع نانوساختارهای ایجاد شده بر روی سطح نیاز به تصاویر FESEM و آنالیز EDX است. با توجه به روکش طلای ایجاد شده روی سطح مس که به هنگام تهیه‌ی تصاویر SEM ایجاد شده است، نمونه‌های جاری قابل استفاده برای FESEM و EDX نبوده و نیاز به انجام دوباره آزمایش و تهیه‌ی نمونه‌های جدید است، ولی با توجه به تغییرات مورفولوژی سطح که در عکس‌های SEM قابل مشاهده است، تأثیر تابش بر ایجاد نانوساختار مشخص است.

۴-۵ نتیجه گیری

تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو باعث دریافت دز بر روی سطح ماده می‌شوند. این دز دریافتی باعث ایجاد بی‌نظمی‌هایی بر روی سطح ماده می‌شود. این بی‌نظمی به طور معمول یک پدیده‌ی ناخوشایند به شمار می‌آید، اما این بی‌نظمی‌ها می‌تواند باعث تغییر ساختار سطح ماده و همچنین واکنش‌پذیری ماده و جوانه‌زنی ساختارهای جدید در ماده شود. در آزمایش صورت گرفته، تغییرات مورفولوژی و دانه‌بندی در سطح نمونه‌هایی که تابش دریافت کرده‌اند نشان از به وجود آمدن این تغییرات از طریق دز دریافتی از طریق چشمه‌ی رادیواکتیو دارد.

یک راه دیگر برای انرژی دادن به سطح مواد و ایجاد بی‌نظمی، حرارت دادن نمونه است. اثرات دما بر ایجاد نانوساختارهای اکسید فلزی مس در هوای آزاد در فصل اول بررسی شده است. در این آزمایش نیز در تصاویر نمونه‌هایی که حرارت دیده‌اند، مشاهده می‌شود که این انرژی انتقال یافته باعث تغییر مورفولوژی و دانه‌بندی بر روی سطح فلز می‌شود.

دما و تابش هر کدام به تنهایی می‌توانند باعث انتقال انرژی به سطح ماده و تغییر ویژگی‌های سطح ماده شوند. مزیت استفاده از تابش این است که تابش، دمای سطح ماده را افزایش نمی‌دهد و در دمای معمولی این تغییرات را به وجود خواهد آورد.

اگر دما و تابش با هم مورد استفاده قرار داده شوند، باعث انتقال دز بیشتر روی سطح ماده خواهند شد. هرچه دز بیشتری روی سطح دریافت شود، آسیب‌های ایجاد شده بیشتر خواهد شد. در نتیجه واکنش‌پذیری سطح نسبت به زمانی که دما و تابش به تنهایی اعمال شد، بیشتر مشاهده می‌شود. با مقایسه تصاویر گرفته شده از نمونه‌هایی که دما و تابش با هم اعمال شده است با نمونه‌هایی که یکی از انتخاب‌های دما و تابش مورد استفاده قرار گرفته است، می‌بینیم که تغییرات بیشتری در مورفولوژی و دانه‌بندی روی سطح مشاهده می‌شود.

فصل هشتم

نتایج و پیشنهادات

۱-۶ نتایج

با توجه به اینکه عددهای اتمی مس و روی تقریباً برابر است، نتایج زیر برای هر دو نمونه تقریباً برابر خواهد بود. به طور کلی در برخورد ذرات به ماده، انرژی به ماده‌ی هدف منتقل می‌شود. اگر این انرژی به اندازه‌ای باشد که بتواند اتم را از جایگاهش جابه‌جا کند، باعث آسیب‌هایی در ساختار شبکه‌ای ماده می‌شود. این آسیب‌ها می‌تواند باعث تغییر در خواص ماده شود. همچنین می‌تواند باعث واکنش پذیری ماده و ایجاد ساختارهای جدید در ماده شود. همچنین می‌تواند باعث تغییر در نوع ساختار در مواد نانو شود.

با استفاده از دما می‌توان باعث ایجاد آسیب در ماده و ایجاد نانوساختارهای اکسید فلزی بر روی سطح فلز مس شد. یک راه دیگر برای ایجاد آسیب در ماده، استفاده از تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو است.

۲-۶ پیشنهادات

- ۱- انجام دوباره‌ی آزمایش با میزان دز دریافتی بیشتر و انجام FESEM و EDX
- ۲- بررسی نحوه‌ی رشد نانوساختارها بر روی فلز روی با استفاده از تابش‌های حاصل از مواد رادیواکتیو
- ۳- بررسی آسیب‌های تابش بر روی دیگر مواد همانند غیرفلزات، نیمه‌رساناها و همچنین نانوساختارها
- ۴- استفاده از چشمه‌های دیگر همانند تفنگ الکترونی و چشمه‌های رادیواکتیو با اکتیویته‌ی بالا



- 1- Abedini A. et al. (2013) "A review on radiation-induced nucleation and growth of colloidal metallic nanoparticles", *Nanoscale Research letters*, 8,1, pp. 474.
- 2- Roentgen, W.C. (1895). "Ueber eine Art von Strahlen. Sitzungsber" *Phys. Med. Ges. Wuerzburg*, Dez., pp. 132.
- 3- Becquerel, H., (1896), "Emission de radiations nouvelles par l'uranium metalique", *C.R. Acad. Sci. Paris*, 1086, pp. 122.
- 4- Baskerville C. (1905), "Radium and radio-active substances, Their application especially to medicine". *The physiological action of radio-active substances and their therapeutic applications*. Philadelphia: Williams, Brown & Earle, pp.115.
- 5- Tsoulfanidis N., Landsberger Sh. (2015), "Measurement and Detection of Radiation" , Fourth Edition, *CRC Press*, pp. 111-160
- 6- Knoll, G. F. (2010), "Radiation Detection and Measurement", 4th ed., *Wiley*, *New York*, pp 40.
- 7- Jiang X, Herricks T, Xia Y, (2002), "CuO Nanowires Can Be Synthesized by Heating Copper Substrates in Air", *Nano Letters.*, 2, 12, pp. 1333.
- 8- Burton M. (1947), "Radiation Chemistry," *J. Phys. g Colloid Chern.*, 51, pp. 611.
- 9- Seitz, F., (1949)," On The Disordering of Solids by Action of fast Massive Particles", *Discussions Faraday Soc.*, No. 5, pp. 271-282.
- 10- J. C. Slater, (1951) "The Effects of Radiation on Materials," *J. Appl. Phys.*, 22, pp. 237.
- 11- Y. Zhang and H.J. Whitlow, (2005), "Modification of materials by MeV ion beams". In *Electrostatic accelerators*, (ed) R. Hellborg, *Springer, Berlin Heidelberg New York*, pp. 506–529.
- 12- Egerton R F (1996) "Electron Energy-Loss Spectroscopy in the Electron Microscope", *New York: Plenum*.
- 13- R. Helborg, H. J. Whitlow, Y. Zhang (Eds.), (2009)," Ion Beams in Nanoscience and Technology, Particle Acceleration and Detection", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, pp. 69

- 14- Jung P, (1991), *Landoldt–Bornstein, New Series* “ III/25 ed H Ullmaier, *Berlin: Springer*, pp 1–87.
- 15- Sickafus K.E. et al. (eds.), (2007) "Radiation Effects in Solids", *Springer*, pp 193–232.
- 16- Kunert T., and Schmidt R., (2001), "Excitations and fragmentation mechanisms in ion–fullerene collisions", *Phys. Rev. Lett.* 86, pp. 5258–5261.
- 17- Banhart F., and Ajayan P. M., (1996), “Carbon onions as nanoscopic pressure cells for diamond formation”, *Nature* ,382, pp. 433–435.
- 18- Mickelson W., Aloni S., W. Q. Han, J. Cumings, and A. Zettl, (2003),” Packing C60 in boron nitride nanotubes”, *Science* ,300, pp. 467–469.
- 19- Lark-Horovitz K., (1951) "Nucleon Bombarded Semiconductors," Reading Conference on Semiconducting Materials", *Butterworth's Scientific Publications, London*, pp. 47-78.
- 20- Cleland J. W., Crawford J. H., Lark-Horovitz K., Pigg J. C., and Young F. W., (1951), "The Effect of Fast Neutron Bombardment on the Electrical Properties of Germanium," *Phys. Rev*, 83, pp. 312.
- 21- Fan Y. and Lark-Horovitz K., (1955), "Fast Particle Irradiation of Germanium Semiconductors," Report of the Bristol Conference on Defects in Crystalline Solids, *The Physical Society, London*, pp. 232-245.
- 22- Gallego N. and Burchell T. D. (2011), A review of stored energy release of irradiated graphite, *Oak Ridge National laboratory*.
- 23- Pan K, Ming H, Yu H, Liu Y, Kang Z, Zhang H, et al. (2011) Different copper oxide nanostructures: Synthesis, characterization, and application for C-N cross-coupling catalysis. *Cryst Res Technol* ; vol 46: pp. 1167-1174.
- 24- Lane R., Craig B., and Babcock W., (2002), Materials engineering with nature's building blocks, *AMPTIAC Newslett Spring* 6, pp. 31.
- 25- Klabunde, K. J., (2001), "Nanoscale Materials in Chemistry". Chapter 4. *Wiley, New York*,
- 26- Avnish Kumar Srivastava (ed), (2013), "Oxide Nanostructures Growth, Microstructures, and Properties", *CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group*, pp 28-30

- 27- Jensen K. (ed), (1989), "Chemical Vapor Deposition, in Microelectronics Processing: Chemical Engineering Aspects. Washington DC", *American Chemical Society*
- 28- Yongdong Xu,; Yan, Xiu-Tian, (2010), Chemical Vapour Deposition, An Integrated Engineering Design for Advanced Materials, *Springer-Verlag London Limited*, pp 1
- 29- Nano Web page: <https://edu.nano.ir/>
- 30- Geant4 Web page: <http://geant4.cern.ch/>
- 31- Kenneth S. Krane, (1988), "Introduction Nuclear Physic", *John Wiley & Sons*, pp.160-190.
- 32- S.J.B. Reed, "Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology", Second Edition-*Cambridge University Press*, 2005, pp. 9-11.
- 33- Knoll G. F, (2010), "Radiation Detection and Measurement" ,4th ed, *New York: Wiley*, pp. 118.
- 34- Peralta L. , (2004), "Measuring the activity of a radioactive source in the classroom", *European Journal of Physics*, 25, pp. 211–219.
- 35- Root Web page: <http://Root.cern.ch/>

Abstract

In the past few decades, revolutionary developments of science and engineering have moved at a very fast pace towards synthesis of materials, are considered. Nanostructured materials include a broad class of materials in the form of thin films, coatings, powders, or bulk materials. As the grain size decreases, there is a significant increase in the volume fraction of grain boundaries or interfaces, which strongly influences the chemical and physical properties of the material. The radiations emitted by radioactive nuclei can have wide applications to modify properties of the materials. Irradiating solids with energetic particles is thought to introduce disorder. But recent irradiation studies have demonstrated that radiation can play a crucial role in the engineering of nanomaterials. The radiation effects could be a way for the design of new materials. In this thesis, the first step is to calculate the amount of absorbed dose on the surface of materials, using Geant4 simulation code. Knowing this dose one can predict changes in structure and properties of materials. In the next step, the growth of nanostructures using radiation from radioactive materials were investigated. For this purpose copper samples were used. ^{137}Cs sources was used in the experiment. After the experiment, the samples were taken SEM images. The surface morphology changes, the effects of radiation on the surface of the material was found.

Keywords: absorbed dose, radiation effects, grow of the nanostructure materials



Shahrood University of Technology

Faculty of Physics

MSc Thesis in Nuclear Physics

**Study of the effect of beta and gamma radiations
on Nano-metal oxides formation in Cu and Zn**

By: Farshid Gholamian

Supervisors:

Dr. Moslem Sohani

Dr. Hamid Haratizadeh

September 2016