بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزي
دانشکده علوم پایه، گروه فیزیك
پایان‌نامه براي دریافت درجه کارشناسي ارشد (M.Sc)
گرایش: حالت جامد

عنوان:
دو بعدي با بارشي بیش از یك RDبررسي مدل‌هاي رشد لایه‌هاي نازك یك بعدي با همبستگي بیش از یك همسایهBDذره و

استاد راهنما:
دکتر سلیمه کیمیاگر

استاد مشاور:
دکتر شمس‌الزمان فرامرزي

پژوهشگر:
منا صفي‌پور

تابستان ۱۳۹۰

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Centeral Tehran Branch

Faculty of Basic Science – Department of Physics

Thesis“ M.Sc”

On Solid State

Subject:

Investigation of two-dimensional RD thin film growth model when the incident particle is more than one simultaneously and one-dimensional BD model with second next neighbors

Advisor:

Dr. Salime Kimiagar

Reader:

Dr. Shamsozaman Faramarzi

By:

Mona Safipour

Summer 2011

تشکر و قدردانی :

از تمامی اساتید بزرگوار و گرانقدری که در طول مدت تحصیل از محضر پرفیضشان بهره مند شده ام کمال تشکر و قدردانی را دارم بویژه از استاد ارجمند و عزیزم سرکار خانم دکتر کیمیاگر که در انجام این پروژه همواره مرا از کمک های دلسوزانه خویش بی نصیب نفرمودند. همچنین از سرکار خانم دکتر فرامرزی که در این پایان نامه مشاور و یاور من بودند نیز تشکر و قدردانی می نمایم و از خداوند منان برای این عزیزان سلامتی، تندرستی و موفقیت روزافزون مسئلت دارم.

تقدیم به :

همسر عزیزم که تندیس عشق و مهرورزی است

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱
فصل اول
مقدمه ۳
فصل دوم
سطوح مشترک در طبیعت ٦
۲-۱) حرکت سطح مشترک در محیط های نامنظم ۷
۲-۱-۱) جریان سیال در مواد پرمنفذ و مشبک ۷
۲-۱-۲) انتشار خط آتش ۸
۲-۱-۳) خطوط شار در ابر رساناها ۸
۲-۲) فرآیندهای انباشت ۹
۲-۲-۱) انباشت اتم ۹
۲-۲-۲) ناهمواری در MBE ۹
۲-۳) روش های تحلیلی ۱۰
۲-۳-۱) مفهوم مقیاس ۱۱
۲-۳-۲) آزمایشات و تجربیات ۱۲
۲-۳-۳) مدل های گسسته ۱۳
۲-۳-۴) معادلات پیوستگی ۱۳
۲-۴) مفهوم فرکتال ۱۳
۲-۴-۱) تاریخچه هندسه فرکتالی ۱۳
۲-۵) خود متشابهی ۱٦
۲-۶) بعد فرکتال ۱۸
۲-۷) خود ترکیبی ۱۹
فصل سوم
مدلهای گوناگون انباشت ۲۵
۳-۱) تعریف مدلهای رشد ساده ۲۵
۳-۲) فرمول بندی مدل RD ۲٦
۳-۳) معادلات رشد تصادفی ۲۷
۳-۴) نظریه خطی ۲۹
۳-۴-۱) انباشت کاتوره ای برآسوده ۲۹
۳-۴-۲) اصل تقارن ۳۰
۳-۵) مدل انباشت بالستیک BD ۳۲
۳-۵-۱) انباشت بالستیک ۳۲
۳-۵-۲) ناهمواری ۳۲
۳-۵-۳) مقیاس دینامیکی ۴۰
۳-۵-۴) نسخه های انباشت بالستیک ۳٦
۳-۵-۵) همبستگی ۳٦
۳-۶) معادله ادوارد – ویلکینسون E-W ۳۸
۳-۷) حل معادلهE-W ٤۰
۳-۷-۱) تقریب مقیاسی ٤۰
۳-۷-۲) حل دقیق ٤۱
۳-۸) معادله KPZ (کاردار – پاریزی – ژانگ) ٤۲
۳-۸-۱) ساختار معادله KPZ ٤۲
۳-۸-۲) افزایش سرعت ٤٤
۳-۹) نماهای مقیاسی ٤۵
۳-۹-۱) معادله برگرز و ناوردایی تحت تبدیلات گالیله ٤٦
فصل چهارم
شبیه سازی مدل های رشد لایه های نازک ۵۰
۴-۱) مدل انباشت کاتوره ای (RD) دوبعدی با بارشی بیش از یک ذره ۵۱

۴-۲) مدل انباشت بالیستیک(BD) با همبستگی بیش از یک همسایه ٥٦
۴-۳) بحث و نتیجه گیری ٦١
فصل پنجم
نتیجه گیری و پیشنهادات ٦٣
۵-۱) نتیجه گیری ٦٣
۵-۲) پیشنهادات ٦٣
مراجع ۶۴
Abstract ۶۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱): بعد فرکتال دانه برفی کخ بین ۱ تا ۲ ..... ۱۷
جدول (۳-۱): خلاصه روابط کلیدی که تعریف شدند. ۳۵
جدول(۴-۱): مقدار مولفه رشد β در مدل انباشت بالستیک برای سیستم هایی با اندازه های متفاوت ۵۹

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار(۲-۱): تغییرات مقیاس در يك شي خود ترکیب ۷
نمودار (۲-۲): تغییر مقیاس همسانگرد و ناهمسانگرد برای یک فرکتال ساده ی دایره ای ۲۰
نمودار (۲-۳): ساختمان یک فرکتال خود ترکیب ۲۱
نمودار (۲-۴): طی مسیر کاتوره ای. خط چین تناسب ۲۲
نمودار (۲-۵): پیشروی سطح با نماهای ناهمواری α متفاوت ۲۳
نمودار (۳-۱): رفتار ارتفاع سطح مشترک ۳۱
نمودار (۳-۲): رشد پهنای سطح مشترک که با زمان در مدل انباشت بالستیک. ۳۳
نمودار (۳-۳): منحنی های مختلف مطابق با رشد زمانی با احتمال های متفاوت. ۳٤
نمودار (۳-۴): تغییرات تابع f(x). ۳٥
نمودار (۳-۵): اثر کشش سطحی در رابطه (۳-۳۲) روی ساختار سطح مشترک ۳۹
نمودار (۳-۶): بخش غیر خطی در معادلهKPZ ٤۳
نمودار (۳-۷): قسمت غیرخطی در معادلهKPZ. ٤٤
نمودار (۴-۱): پهنای سطح بر حسب زمان t ٥۲
نمودار (۴-۲): پهنای سطح بر حسب زمان t ٥۲
نمودار (۴-۳): لگاريتمي پهناي سطح بر حسب زمان ٥۳
نمودار (۴-۴): لگاریتمی پهنای سطح بر حسب زمان در اندازه های مختلف ٥۸
نمودار (۴-۵): ارتفاع بر حسب مکان برای زیر لایه های مختلف ٦۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱): طرح شماتیک کاغذ آغشته به سیال ۷
شکل (۲-۲): خطوط شار در یک ابر رسانا نوع II ۸
شکل (۲-۳): انباشت توده برفي..... ۱۰
شکل (۲-۴) روش کاتد پرانی در شش ماده در ابعاد متفاوت ۱۱
شکل (۲-۵): سطح گرافیت بعد از بمباران ۱۲
شکل (۲-۶): طرح شماتیک ساخت فرکتال «دانه برفی کخ»..... ۱۶
شکل (۲-۷): اژدهای «هرترهای وی» به نحوه تکرار ۱۷
شکل (۲-۸): مثلث های سیر پینسکی..... ۱۹
شکل(۳-۱): مدل انباشت کاتوره ای ۲۶
شکل (۳-۲) نمونه ای از یک سطح مشترک رشد یافته در مدل RD..... ۲۷
شکل(۳-۳): انباشت کاتوره ای برآسوده RDA ۲۹
شکل(۳-۴): سطح مشترک در ده زمان متفاوت برای انباشت کاتوره ای..... ۳۰
شکل (۳-۵): مدل انباشت بالستیک با دو نوع ذره (نسخه (NN))..... ۳۲
شکل (۳-۶): مدل انباشت بالستیک نسخه (NNN)..... ۳۶
شکل (۳-۷): نمونه ای از انباشت بالستیک نسخه (NNN). ۳۶
شکل (۳-۸): رشد جانبی در مدل BD..... ۳۷
شکل(۴-۱): نمای سه بعدی سطوح حاصل از شبیه سازی ۵۴
شکل(۴-۲): نمای از بالای سطوح حاصل از شبیه سازی..... ۵۴
شکل (۴-۳): نمای کناری ارتفاع بر حسب x در مدل RD تعمیم یافته ۵۵
شکل (۴-۴): نمای کناری ارتفاع بر حسب x در مدل RD معمولی ۵۵
شکل (۴-۵): تصویر SEM سلول هاي خورشيدي لايه نازك CdTe ۵۶

چكيده

تحقيقات در زمينه رشد لايه‌هاي نازك در طي سالهاي اخير پيشرفت چشمگيري داشته است و حاصل اين تحقيقات كاربرد روز افزون لايه‌هاي نازك در زمينه‌هاي صنعتي مي‌باشد. هدف اين تحقيق شبيه‌سازي رشد لايه‌هاى نازك است كه بتوان با نتايج تجربي مقايسه كرد و اعتبار مدل‌هاي انتخابي مشخص شود. در اين پژوهش مدل رشد RD دو بعدي را براي حالتي كه رشد خوشه‌اي روي سطح صورت مي‌گيرد مورد بررسي قرار مي‌دهيم يعني به جاي يك ذره فرودي، همزمان چند ذره به صورت كاتوره‌اي فرود مي‌آيند كه منجر به رشد خوشه‌اي سطح مي‌شود. همچنين مدل رشد BD يك بعدي با همبستگي بيش از يك همسايه را مورد ارزيابي قرار داده‌ايم. يعني همسايه‌هاي مرتبه دوم هم در تعيين جايگاه بر آسوده شدن ذره اثر دارند. براي هر دو مدل رشد، شبيه‌سازي براي زير لايه‌هاي مختلف را انجام داده‌ايم و نتايج حاصله را با كلاس جهاني مقايسه كرده‌ايم.

فصل اول

مقدمه

تا چند دهه پیش اندیشمندان هستی را گستره ای متشکل از مجموعه های سیستماتیک منطبق و متاثر از قوانین جبری طبیعت می دانستند که به شیوه ای مشخص و کاملا قابل پیش بینی در حال حرکت است. با گذشت زمان و پیشرفت علوم، عدم توجیه بسیاری از رویدادهای طبیعی بواسطه دیدگاه های جبرگرایانه قبلی، توجه به دیدگاه ها و نظریات جدیدتری از جمله نظریه کوانتوم، نظریه نسبیت و نظریه بی نظمی (Chaos Theory) معطوف گردید. با پیدایش نظریه های جدید علمی، امروزه نوعی نظم در بی نظمی یا بی نظمی منظم در نظر گرفته می شود. انگاره اصلی و کلیدی این تئوری عبارت نظم در بی نظمی یا بی نظمی منظم است که حکایت از جستجوی نظم در بی نظمی ها در مقیاس های متفاوت بجای کنکاش علت در یک مقیاس واحد است. به عبارت دیگر پدیده ای که در مقیاس محلی کاملا تصادفی و غیر قابل پیش بینی به نظر می رسد، در مقیاس بزرگتر کاملا پایا و قابل پیش بینی است. بی نظمی ها هم در آزمایشگاه و هم در دنیای واقعی به وفور یافت می گردند. تئوری بی نظمی با ارائه مفاهیم جدیدی همچون فرکتال، خودتشابهی و خود تمایلی دروازه جدیدی در کشف نظم در پدیده های جهان گشوده است.

هندسه فرکتالی وسیله و مفهومی نوین است که امکان توصیف ریخت های طبیعی را میسر کرده است. هندسه فرکتالی در مقابل هندسه اقلیدسی به برقرار بودن نظم در تمام سطوح تاکید دارد و به نظم حاصل از تکرار بی نهایت بی نظمی اشاره می کند. برای درک مفاهیم رشد نیاز به شناخت فرکتال ها داریم که در فصول پیش رو به آن خواهیم پرداخت.

مطالعه و پژوهش در زمینه های فیزیک سطح فصل مشترک و لایه های نازک به عنوان یکی از با اهمیت ترین شاخه های فیزیک ماده چگال و سطوح جامد محسوب می شود. تحقیقات در زمینه‌های لایه های نازیک در طی سال های اخیر پیشرفت زیادی داشته است و حاصل این تحقیقات در سایر علوم همچون ریاضی، شیمی، فیزیک، زیست شناسی و از طرفی در علم مواد و مهندسی نفت کاربردهای چشمگیری دارد.

جنبه های مختلفی از فرایندهای رشد وجود دارد که آنها را جالب و در عین حال پیچیده می کند. یکی از آنها اثر تصادفی است. پدیده رشد شامل اختلال و تصادف است که نقش اساسی در شکل گیری ریخت شناسی نهایی سطح مشترک ایفا می کنند. منشاء تصادف می تواند به فرایند مورد مطالعه بستگی داشته باشد.

در فرایندهای انباشت یک طبیعت غیر یکنواخت از جریان فرودی وجود دارد. به این شکل که ذرات با فواصل زمانی تصادفی بین آنها به مکان های تصادفی روی سطح می رسند. همچنین ماهیت تصادفی انتشار ذرات فرودی به روی سطح وجود دارد. نظر به اینکه اتم ها معمولا خط

مسیر براونی را دنبال می کنند در حالیکه به دنبال گوشه های خانه ای برای چسبیدن در آن محل می باشند، بنابر این مرتبا با منبع مختلفی از پدیده تصادف روبرو هستیم.
این تحقیق به عنوان یک مقدمه و معارفه در زمینه کاربردهای مختلف مبحث رشد نامنظم سطوح بکار برده می شود. حال برای نزدیک تر شدن ذهن خواننده توضیحات مختصری از فصول بعدی ارائه می گردد:
در فصل دوم در رابطه با مفهوم مقیاس و اهمیت آن در بررسی ساختار جامدات صحبت خواهد شد و پدیده سطح و تشابه ساختار کلی در فرایندهای مختلف و در کنار اینها اهمیت اصل تقارن را خاطر نشان می شویم و ضمنا پدیده انباشت را تعریف و چند نمونه انباشت را معرفی می کنیم. در این فصل مفهوم فرکتال و انواع آن که دو نوع همسانگرد و ناهمسانگرد می باشند و شیوه شناخت و کاربرد فرکتال و ارتباط آن با بحث این پروژه آمده است.
در فصل سوم انواع مدل های انباشت تعریف می شوند و شیوه انباشت کردن ذرات، فرمول بندی ریاضی آنها و تفاوت ها و تشابهات آنها ذکر خواهد شد. همچنین معادلات رشد E-W ادوارد-ویلکینسون و معادله KPZ و به همین منظور معادله برگرز و معادله فوکر پلانک مطالعه می شوند و نهایتا نتایج کلاس های جهانی با هم مقایسه خواهند شد.
در فصل چهارم کار اصلی این پروژه که تحلیل رشد سطح با مدل انباشت کاتوره ای با بارشی بیش از یک ذره و مدل انباشت بالستیک با همبستگی بیش از یک همسایه است را تشریح می کنیم. آزمایشات و شبیه سازی هایی که انجام داده ایم را ارائه خواهیم کرد و نتایج را با کلاس جهانی مقایسه می کنیم و در نهایت در فصل پنجم نتیجه گیری های به عمل آمده ذکر شده و پیشنهاداتی به علاقه مندان پژوهش در این زمینه ارائه می گردد.

فصل دوم

سطوح مشترک در طبیعت

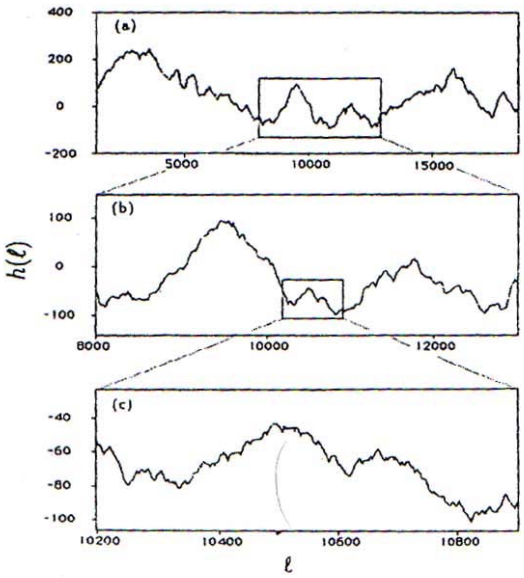
ما بر روی سطحی زندگی می کنیم که این سطح خود با یک پوسته صخره مانند در تماس است. بر روی پوسته زمین راه می رویم و هیچ توجهی به اینکه مرکز زمین مذاب است، نداریم. اگر هم توجه کنیم، نمی توانیم به آن دسترسی داشته باشیم و به درک عمیقی از آن دست پیدا کنیم. در واقع به وجود این سطوح عادت کرده ایم و این حیرت آور خواهد بود که شناخت ساختار آن بستگی به مقیاسی دارد که در آن مورد بررسی قرار می گیرد. به عنوان مثال یک فضانورد در فضا زمین را مانند یک توپ صاف و گرد می بیند. زمین از فضا مانند یک سطح صاف دیده می شود در حالی که از دید یک کوهنورد که از کوه بالا می رود، زمین نه تنها صاف نیست بلکه سخت و ناهموار است.

نتیجه ای که می توان گرفت این است که شناخت ساختار سطح بستگی به مقیاس طول دید دارد یعنی اینکه از چه مقیاس و دستگاهی به جسم نگاه می کنیم، اهمیت دارد.

سؤالی که باید به آن جواب داد این است که چگونه می توان یک ساختار صاف و یکنواخت را توصیف کرد، در حالیکه همین سطح صاف زیر میکروسکوپ زبر و ناهموار است. به این منظور روش های توسعه یافته ای برای توصیف کمی قالب شناسی و سطح مشترک به کار گرفته می شود. باید دید که آیا مفهوم زبر مانند، توصیف درستی است؟ در این نگرش، زبری ناشی از مقیاسی است که مشاهده در آن شکل می گیرد. در طبیعت، ریخت اشیاء بنا به مقیاسی که در آن مشاهده می شوند متفاوت می باشد و این عامل مقیاس است که تفاوت ها را روشن می کند.

در اینجا می خواهیم ببینیم وقتی در مقیاسهای متفاوت مشاهده از اشیاء را انجام می دهیم چه واسطه ای بین اشیائی که قالب مشخص دارند و آنهایی که قالب نامشخص دارند وجود دارد. وقتی از همه طرف برای مشاهده به طور مشابه در اشیائی که ساختار نامشخص دارند تغییر مقیاس بدهیم، ساختار به گونه ای دیگر به نظر می آید. و این در حالی است که سطح مشترک (قالب اولیه شی ء) بدون تغییر باقی می ماند. در واقع آنها رفتاری به مانند اشیائی هندسی که قالب و ساختارشان قبل و بعد از تغییر مشابه است دارند. [۳]

در اینجا بعضی جزئیات طبیعی مشابه اشیاء بلوری خود ترکیب مورد بررسی قرار می گیرند. باید دید که آیا این ترکیب از اصل تقارن تبعیت می کند؟ این نکته را باید متذکر شد که با استفاده از اصل تقارن بعضی خصوصیات یک سیستم کریستالی کاملاً قابل درک می شود. از این رو تقارن می تواند عاملی برای دسته بندی اشیاء بلوری باشد و می توان با استفاده از تقارن درک بهتری از زبری سطح طبیعی اجسام داشت. (نمودار (۲-۱))



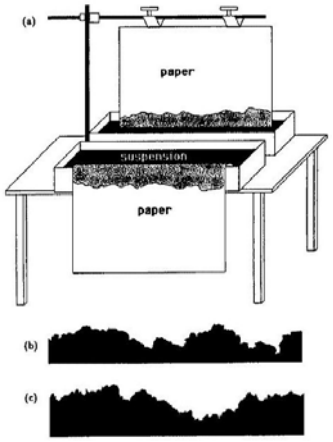
نمودار(۲-۱): تغییرات مقیاس در یك شي خود ترکیب

۲-۱) حرکت سطح مشترک در محیط های نامنظم

۲-۱-۱) جریان سیال[1] در مواد پرمنفذ و مشبک

هنگامی که سر سفره صبحانه چایی روی سفره می ریزد، یک لحظه مشخصی وجود ندارد که نیروهای میکروسکوپیک به تعادل برسند و پخش شدگی چایی متوقف شود. بنابراین باید تا فروکش کردن پیشروی منتظر ماند و سپس لکه قهوه ای حاصل از ریختن چایی را مورد آزمایش قرار داد.

این آزمایش را در آزمایشگاه با چسباندن یک ورقه قهوه ای روی یک پایه و فرو بردن یک گوشه ای آن در یک مایع را می‌توان تکرار کرد. کاغذ یک ماده غیر همگن است. یک نمونه ناهمگن متخلخل و پرمنفذ که می تواند ماده ای همچون نفت را نگه دارد. (شکل (۲-۱)).



شکل (۲-۱): (**a**) طرح شماتیک کاغذ آغشته به مایع به عنوان یک ماده متخلخل
(**b**) اندازه افقی کاغذ **cm** ۲۰ است. (**c**) نتیجه کلی حرکت مرز مشترک در مواد متخلخل

[1] - Fluid flow

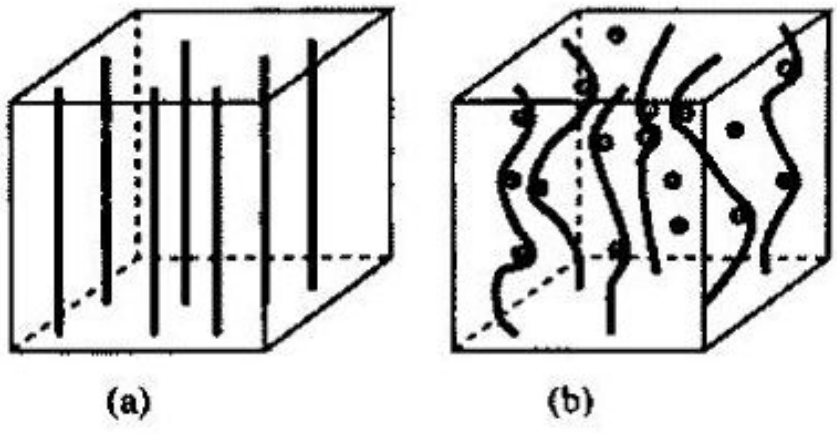
۲-۱-۲) انتشار خط آتش

یک برگه کاغذ را بردارید و از یک گوشه آن را آتش بزنید. سعی کنید آن را به صورت افقی نگه دارید تا اینکه تمام کاغذ یکباره آتش نگیرد. و پس از خاموش شدن شعله، باید مرز بین قسمت سوخته شده و قسمت سوخته نشده را مورد بررسی قرار داد. به این صورت که آیا ناهموار است؟ آیا شبیه به مرزی که در لکه چای روی سفره ایجاد کرد، می باشد؟

این پدیده مشابهاً یک اتفاق است یا مشخصه مشترکی بین این دو پدیده وجود دارد؟

۲-۱-۳) خطوط شار در ابر رساناها

با فرض اینکه یک ابر رسانا در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار داده شود، آنگاه خطوط شار ناشی از میدان در ماده ایجاد می شود. اگر در ابر رسانا ناخالصی وجود داشته باشد و دما پایین باشد، خطوط شار به شکل خطوط مستقیم و هم راستا خواهند بود. اما اگر در ابر رسانا ناخالصی موجود باشد، خطوط شار به سمت ناخالصی ها تمایل پیدا می کنند (شکل (۲-۲)). این خطوط شار منحصر بفرد و ناهموار، مشابه به سطح آغشته به چایی یا سطح سوخته می باشد. [۲]



شکل (۲-۲): خطوط شار در یک ابر رسانا نوع **II** **(a)** خطوط شار در ابر رسانا در دمای پایین. **(b)** خطوط شار هنگامی دما افزایش می یابد، مواج و نامنظم می شوند.

این احساس وجود دارد که همه سیستم های مورد بحث در این بخش خصوصیات فیزیکی مشابهی را دارند. و ما به دنبال کشف این حقیقت هستیم و می خواهیم ببینیم که آیا این چنین تشابهاتی واقعاً وجود دارند یا خیر؟ و چه ارتباطی بین تشابه این فرآیندها وجود دارد؟

در مثال کاغذ آغشته به سیال یک لایه فرعی به سطح می چسبد و به موجب آن سطح ناهموار می گردد. یا مثلاً در کاغذ سوخته بخش هایی از آن به سرعت بخش های دیگر نمی سوزد و باعث توقف شعله می گردد. در ابر رسانا ناخالصی ها خطوط شار را جذب می کنند و باعث انحراف آنها و ناهمواری خطوط شار می گردد.

در ذهن، این سؤال ایجاد می شود که آیا قانون های مشابهی در توجیه این سیستم ها وجود دارد و آیا می توان توسط روش های عددی این سیستم ها را مطالعه کرد یا خیر؟ همان کاری که ما در این پژوهش می خواهیم انجام دهیم و با روش های عددی این سیستم ها را بررسی کنیم.

۲-۲) فرآیندهای انباشت[1]

در زمستان، در هنگام بارش برف، دانه های برف به آرامی روی شیشه پنجره به پایین سر می خورند و به شکل یک توده در می آیند (شکل ۲-۳ (a)). توجه داشته باشید که در هنگام مشاهده در مقیاس بزرگ، توده روی شیشه بسیار ناهموار است. دانه برف به صورت تصادفی تغییر موقعیت می دهد تا اینکه به توده می رسد و در آن فرو می رود و یک ساختار ناهموار به وجود می آید. چیزی شبیه به این در شکل (۲-۳ (b)) نشان داده شده است. حجم به وجود آمده تقریباً همگن است اما سطح آن ناهموار است. اینها مثال هایی از انباشت های تصادفی است که در برخی از موارد اتفاق می افتد و ما شاهد رشد سطح ناهموار هستیم.

۲-۲-۱) انباشت اتم[2]

فرآیند انباشت، اهمیت تکنولوژیکی زیادی در رشد مولکولی پرتوهای هم بافته یک فیلم نازک دارد (MBE)[3]. این فرآیند تکنولوژیکی در ساختار دیسک های کامپیوتری و وسایل نیمه هادی مورد استفاده قرار می گیرد. یک عنصر مورد استفاده در کامپیوترها، تراشه های سیلیکنی (Si) است. حال تصور کنید که شما شروع به تغییر موضع یک اتم جدید در سطح Si می کنید. وقتی که این اتم به لایه والانس می رسد دو حالت برایش ممکن است که پیش بیاید. با احتمال زیاد در همسایگی اتم های دیگر باقی می ماند و با احتمال کم ممکن است که مرز در هم بریزد. اگر شار زیاد شود شمار زیادی از اتم های سرگردان روی سطح ایجاد می شود و این اتم ها به مانند بافتی توده ای به یکدیگر می چسبند. این توده ها همیشه منظم نیستند.

انباشت اتم های نقره (Ag) روی پلاتین (Pt) به ساختارهایی شاخه ای منجر می شود که قالب های خود متشابه[4] و هندسی دارند تفاوت بین Si و Pt در ساختار توده هاست.

۲-۲-۲) ناهمواری در MBE

اگر در روی سطحی همچون Si به جابه جایی اتم ها ادامه داده شود توده های کوچک از روی توده های بزرگتر دور می شوند و سطح مشترک سرانجام ناهموار می گردد.

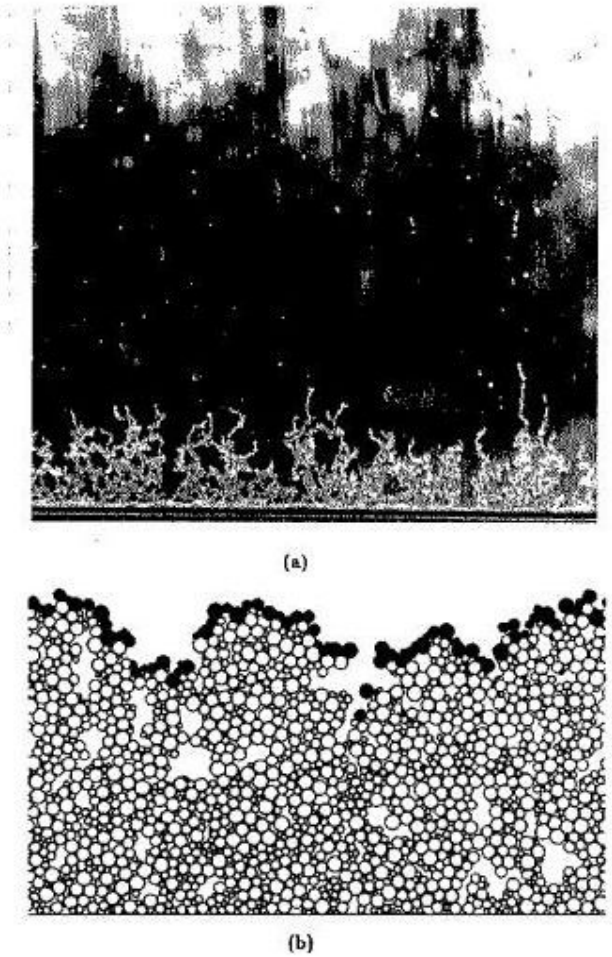
مهندسین همواره آرزو دارند که یک فیلم از سطح ناهموار با پودر متراکم کننده بسازند، اما نمی توانند در کاربردهای زیادی از آن استفاده کنند. برای پرهیز از ایجاد ناهمواری زیاد ابتدا باید مکانیزم اصلی و پایه ای ایجاد ناهمواری و فرآیندهای مؤثر قالب شناسی را مورد بررسی قرار دهیم این مفاهیم می توانند روش رشد لایه های نازکی را که در آنها ناهمواری کاسته شده یا وجود ندارد را شناسایی کند.

روش دیگری برای این منظور روش کاتد پرانی در فیلم است. فرآیند تحلیل با روش بمباران یونی در ماده رخ می دهد که یون با سطح برخورد کرده و به اتم ها ضربه می زند این فرآیند برای پاکسازی یک سطح به وسیله ساییدن چند لایه یا با هدایت کردن اتم ها به جلو به طور مشابه برای رشد صفحات دیگر که فرآیند مدل انباشت اسپاتر[5] نامیده می شود، مورد استفاده

---

1 - Deposition processes
2 - Atom deposition
3 - Molecular Beam Epitaxy
4 - Self- similar
5- Sputter deposition

قرار می گیرد. رشد لایه ها با انباشت اسپاتر گاهی وقت ها ساختاری مثل گل کلم به خود می گیرد. همان طوری که در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.
ساختار واقعی یک سطح در فرسایش ناهموار، بستگی به شرایط آزمایش دارد. بعضی آزمایش ها منجر به سطوح ناهموار می شود و برخی ساختارهای موج دار متناوب ایجاد می کنند که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳): (a) ذرات برف که روی شیشه ماشین پایین آمده اند و روی هم انباشته شده اند.
(b) یک سطح رشد کرده با یک مدل انباشت ساده، که ذرات کروی به شکل رندومی روی سطح پایین آمده اند و به صورت متراکم روی هم انباشت شده اند.

۲-۳) روش های تحلیلی

در زمینه رشد سطوح بی نظم، ابزارهای استاندارد بسیاری برای بررسی مدل وجود دارد. در اینجا به طور خلاصه روی چهار روش استاندارد بحث می شود که امروزه بیشتر مورد توجه اند. [۳]