

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

علم سطح

مبانی کاتالیستی و علم نانو

تالیف

کُرت دَبلیو کُلاسنسکی

Kurt W. Kolasinski

ترجمه

مجتبی شریعتی نیاسر

با همکاری؛ حمید رضا حفیظی اتابک و حامد شریعتی نیاسر

همراه با مقدمه‌ای از

دکتر علی مقاری

استاد دانشگاه تهران



شماره مسلسل ۹۲۳۱

شماره انتشار ۳۳۲۵

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: کلاسینسکی، کورت دبلیو. Kolasinski, Kurt W
عنوان و نام پدیدآور	: علم سطح؛ مبانی کاتالیستی و علم نانو/ تألیف کرت دبلیو کلاسینسکی؛ ترجمه مجتبی شریعتی نیاسر - حمیدرضا حفیظی اتابک - حامد شریعتی نیاسر.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۳۸۸ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۳۲۵.
شابک	: 978-964-03-6362-1
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Surface Science: Foundation of Catalysis and Nanoscience, 2002.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: شیمی رویه‌ها
موضوع	: رویه‌ها (فیزیک)
موضوع	: کاتالیز
موضوع	: علوم نانو
شناسه افزوده	: شریعتی نیاسر، مجتبی، ۱۳۳۴ - مترجم
شناسه افزوده	: حفیظی اتابک، حمیدرضا، مترجم
شناسه افزوده	: شریعتی نیاسر، حامد، ۱۳۵۲ - مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات
رده‌بندی کنگره	: QD۵۰۶/ک۹ع۸ ۱۳۹۶
رده‌بندی دیویی	: ۵۴۱/۳۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۱۰۸۲۳

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

ISBN:978-964-03-6362-1



9 789640 363621

عنوان: علم سطح؛ مبانی کاتالیستی و علم نانو

تألیف: کرت دبلیو کلاسینسکی

ترجمه: دکتر مجتبی شریعتی نیاسر

با همکاری: مهندس حمیدرضا حفیظی اتابک - مهندس حامد شریعتی نیاسر

نوبت چاپ: سوم

تاریخ انتشار: ۱۳۹۶

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجمان است»

بها: ۲۵۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press @ ut. ac. ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

باسمه تعالی

مطالعه سطح جامدات به دلیل رفتار ویژه‌ای که دارند از هر دو جهت علمی و فناوری بسیار اهمیت دارد. سطح جامدات شامل لایه بسیار نازکی از اتم‌ها یا مولکول‌هاست که میدان نیرو در بالا و پائین آنها متفاوت است. مولکول‌های جامد در ناحیه بسیار کوچکی به طور دائمی نوسان می‌کنند و تحت هیچ شرایطی این نوسانات متوقف نمی‌شوند. به همین دلیل به طور خود به خودی نمی‌توانند با کمینه نمودن انرژی سطح به تعادل برسند. به دلیل عدم توازن نیروها در سطح و کمینه نبودن انرژی آزاد سطح، می‌توان لایه‌های سطحی را به عنوان سیستمی ناهمگن و غیرتعادلی در نظر گرفت. همین امر باعث پیچیده شدن مطالعه آنها می‌شود.

ساختار منظم شبکه جامد و وجود حفره‌هایی که اغلب به شکل سازمان‌یافته‌ای سطح جامد را پوشانده اند منجر به ارائه مدل‌های ساده‌تری (در مقایسه با سیالات) برای مطالعه آنها می‌شود. مدل‌هایی که می‌توانند خواص حرارتی و مکانیکی جامدات را به خوبی نمایش دهند. مدل‌های مکانیک آماری و محاسبات مکانیک کوانتمی در کنار روش‌های تجربی می‌توانند رفتار دقیق سطوح جامد را تبیین نمایند. ضمن اینکه وجود حفره‌ها بر روی شبکه جامد باعث به دام افتادن اتم‌ها یا مولکول‌های درون آنها می‌شود که این اتفاق برحسب قدرت میدان نیروی بین این ذرات با اتم‌های جامد، موجب جذب فیزیکی یا شیمیایی خواهد شد.

از سوی دیگر، بررسی رفتار فیزیکی و شیمیایی سطح و نیز فرایندهای جذب و واجذب سیالات بر روی سطوح جامد، چه به لحاظ نظری و چه از حیث کاربردهای صنعتی از موضوعات مهم محسوب می‌شود. برای شناخت فرایندهای سطحی لازم است درک صحیحی از ساختار الکترونی و ویژگی‌های شبکه جامد داشته باشیم تا امکان تفسیر فیزیکی، ارائه مدل و مکانیزم چنین فرایندهایی میسر شود. شبکه‌های جامد نسبت به مایعات و گازها از ساختارهای منظم و تکرارپذیر یا تقارن انتقالی برخوردارند، اما برهم‌کنش میان اجزاء تشکیل دهنده آنها (اتم‌ها، یون‌ها و یا مولکول‌ها) قوی‌تر می‌باشد. وقتی مولکول‌های گاز و مایع با این سطوح برخورد می‌کنند، بر حسب قابلیت سطوح جامد - که به ساختار الکترونی و نظم شبکه ای آن و نیز قدرت برهم‌کنش اتم‌های سطح با مولکول‌های فاز سیال مربوط می‌شود - ممکن است موجب تشکیل یک پیوند واندروالسی ضعیف از مرتبه 0.1 eV یا یک پیوند هیدروژنی از مرتبه 1 eV و یا یک پیوند شیمیایی از مرتبه چند الکترون ولت شود. از طرفی فاز متراکم جامدات با حجمی بسیار کوچک، دارای سطح وسیعی است که امکان استقرار تعداد زیادی از اتم‌ها با ملکول‌های را بر روی آن فراهم می‌سازد. این قابلیت‌ها موجب می‌شود تا کاربرد جامدات و سطوح آنها در صنایع مختلف و نیز زندگی روزمره انسان مورد توجه قرار گیرد.

کتاب حاضر که شامل مباحث متنوعی از رفتار سطح جامدات می‌باشد، برای دانشجویان سطح تحصیلات تکمیلی و کسانی که علاقه به کار تحقیقاتی دارند مفید و ارزشمند است. به جنبه‌های بنیادی و نظریه‌های اساسی توجه ویژه‌ای کرده است. بدیهی است بدون شناخت عمیق از این مطالب نمی‌توان کار تحقیقاتی موثری در زمینه سطح انجام داد. در این کتاب ارزشمند روش‌ها و تکنیک‌های تجربی مورد استفاده، در بررسی خواص سطح به خوبی و با ذکر جزئیات مورد بحث قرار گرفته است. فهم صحیح مطالب این کتاب نیاز به آشنائی مختصری با مفاهیم کوانتومی، رفتار و ساختار مولکولی و مکانیک آماری دارد که می‌توان در منابع مختلفی به آن دست یافت.

علی مقاری

استاد شیمی فیزیک دانشگاه تهران

فهرست

مقدمه مترجم ز

فصل اول

۱	ساختار سطح.....
۱-۱	ساختار سطح تمیز.....
۱-۱-۱	سطوح ایده‌آل صاف.....
۲-۱-۱	صفحات مجاور و با شاخص بزرگ.....
۳-۱-۱	سطوح ناهموار.....
۴-۱-۱	سطوح دو فلزی.....
۲-۱	بازسازی و ساختار ماده جذب شده.....
۱-۲-۱	تاثیر ناهمگنی سطح در جذب مواد.....
۲-۲-۱	بازسازی سطح تمیز.....
۳-۲-۱	بازسازی مواد جذبی القایی.....
۴-۲-۱	جزایر.....
۳-۱	ساختار نوارهای جذبی در جامدات.....
۱-۳-۱	حالت‌های الکترونی توده‌ای از ذرات.....
۲-۳-۱	فلزات؛ نیم هادی‌ها و عایق‌ها.....
۳-۳-۱	سطوح انرژی در فصل مشترک فلزات.....
۴-۳-۱	سطوح انرژی در فصل مشترک فلز و نیمه رسانا.....
۵-۳-۱	حالات الکترونی سطح.....
۴-۱	ارتعاشات جامد.....
۵-۱	خلاصه نکات کلیدی.....
۲۹	تمرین.....
۳۱	مراجع.....

فصل دوم

ابزارهای تجربی در بررسی ساختار سطح و مواد جذبی ۳۳

۱-۲ روش‌های اندازه‌گیری روبشی ۳۳

۱-۱-۲ میکروسکوپ تونل زنی روبشی ۳۴

۲-۱-۲ طیف نگاری تونل زنی روبشی ۳۸

۳-۱-۲ میکروسکوپ نیروی اتمی ۴۰

۴-۱-۲ میکروسکوپ نوری روبشی میدان نزدیک ۴۴

۲-۲ پراش الکترون کم انرژی ۴۸

۳-۲ طیف نگاری الکترونی ۵۶

۱-۳-۲ طیف نگاری فوتو الکترونی پرتو-X ۵۷

۲-۳-۲ طیف نگاری فوتو الکترونی ماوراء بنفش ۶۳

۳-۳-۲ طیف نگاری الکترونی اوژه ۶۹

۴-۳-۲ میکروسکوپ فوتو الکترونی ۷۲

۴-۲ طیف نگاری ارتعاشی ۷۴

۱-۴-۲ طیف نگاری مادون قرمز ۷۷

۲-۴-۲ طیف نگاری افت انرژی الکترون ۸۲

۵-۲ روش‌های دیگر تجزیه سطح ۸۴

۶-۲ خلاصه نکات کلیدی ۸۴

تمرین ۸۶

مراجع ۹۰

فصل سوم

جذب شیمیایی؛ جذب فیزیکی و دینامیک ۹۳

۱-۳ انواع برهم کنش‌ها ۹۳

۲-۳ نقاط پیوندی و نفوذ ۹۴

۳-۳ جذب فیزیکی ۹۴

۴-۳ جذب شیمیایی غیر تفکیکی ۱۰۱

۱-۴-۳ رفتار نظری جذب شیمیایی ۱۰۱

۲-۴-۳ مدل بلاپهلدر برای جذب شیمیایی CO بر روی فلز ۱۰۵

۳-۴-۳ جذب شیمیایی اکسیژن مولکولی ۱۰۸

۴-۴-۳ پیوند اِتین ۱۱۰

۵-۳ جذب شیمیایی تفکیکی: H_2 بر روی یک فلز ساده ۱۱۲

فهرست □ خ

۱۱۳	۶-۳ چه چیزی واکنش پذیری فلزات را تعیین می کند.....
۱۱۷	۷-۳ اتم ها و مولکول های زود آمده بر روی یک سطح.....
۱۱۷	۱-۷-۳ کانال های پراکندگی.....
۱۲۰	۲-۷-۳ جذب سطحی غیر فعال.....
۱۲۳	۳-۷-۳ مدل مکعب سخت.....
۱۲۶	۴-۷-۳ جذب سطحی فعال.....
۱۲۷	۵-۷-۳ جذب سطحی غیرمستقیم (به واسطه ماده پایه) و مستقیم.....
۱۳۱	۸-۳ برگشت پذیری میکروسکوپی در پدیده جذب و واجذب.....
۱۳۷	۹-۳ تاثیر هر یک از درجات آزادی بر جذب و واجذب.....
۱۳۸	۱-۹-۳ تبادل انرژی.....
۱۳۹	۲-۹-۳ شکل سطح انرژی پتانسیل و اثر نسی مولفه های پر انرژی.....
۱۴۱	۱۰-۳ انتقال؛ ناهمواری و حرکت های اتمی سطح.....
۱۴۱	۱-۱۰-۳ تاثیر گذاری بر جذب.....
۱۴۴	۲-۱۰-۳ ارتباط جذب و واجذب با برگشت پذیری میکروسکوپی.....
۱۴۶	۳-۱۰-۳ مقیاس انرژی در راستای عمودی.....
۱۴۸	۱۱-۳ چرخش و جذب سطحی.....
۱۴۸	۱-۱۱-۳ جذب غیر فعال.....
۱۵۰	۲-۱۱-۳ جذب فعال.....
۱۵۱	۱۲-۳ ارتعاش و جذب سطحی.....
۱۵۱	۱۳-۳ جذب سطحی رقابتی و فرایندهای برخورد القایی.....
۱۵۵	۱۴-۳ دسته بندی مکانیزم های واکنش.....
۱۵۶	۱-۱۴-۳ مکانیزم لانگموئر- هینشل وود.....
۱۵۸	۲-۱۴-۳ مکانیزم الی- ریدل.....
۱۵۹	۳-۱۴-۳ مکانیزم اتم گرم.....
۱۶۰	۱۵-۳ اندازه گیری ضریب چسبندگی.....
۱۶۲	۱۶-۳ خلاصه نکات کلیدی.....
۱۶۴	تمرین.....
۱۷۱	مراجع.....

فصل چهارم

۱۷۹	ترمودینامیک و سینتیک فرایندهای سطح.....
۱۷۹	۱-۴ ترمودینامیک جذب و واجذب.....

۱۷۹.....	۱-۱-۴ انرژی‌های پیوندی و سدهای انرژی فعال‌سازی.....
۱۸۱.....	۲-۱-۴ کمیت‌های ترمودینامیکی.....
۱۸۲.....	۳-۱-۴ چند تعریف.....
۱۸۳.....	۴-۱-۴ گرمای جذب.....
۱۸۵.....	۲-۴ همدماهای جذب: روش ترمودینامیکی.....
۱۸۸.....	۳-۴ بر هم کنش‌های عرضی.....
۱۹۰.....	۴-۴ سرعت واجذب.....
۱۹۰.....	۱-۴-۴ واجذب مرتبه اول.....
۱۹۱.....	۲-۴-۴ نظریه حالت گذار جذب سطحی مرتبه اول.....
۱۹۵.....	۳-۴-۴ بررسی ترمودینامیکی واجذب مرتبه اول.....
۱۹۸.....	۴-۴-۴ فرایند واجذب غیر مرتبه اول.....
۲۰۰.....	۵-۴ سینتیک جذب.....
۲۰۰.....	۱-۵-۴ روش قراردادی نظریه حالت گذار برای سینتیک جذب.....
۲۰۰.....	۲-۵-۴ جذب لانگموئیری: جذب غیر تفکیکی.....
۲۰۴.....	۳-۵-۴ جذب لانگموئیری: جذب تفکیکی.....
۲۰۵.....	۴-۵-۴ جذب لانگموئیری تفکیکی با بر هم کنش‌های عرضی.....
۲۰۶.....	۵-۵-۴ فرایند جذب با واسطه پیش ماده.....
۲۰۹.....	۶-۴ همدماهای جذبی با روش سینتیک.....
۲۰۹.....	۱-۶-۴ همدماهای لانگموئیر.....
۲۱۰.....	۲-۶-۴ اندازه‌گیری ترمودینامیکی از طرق همدمها.....
۲۱۱.....	۷-۴ برنامه‌ریزی دما برای فرایند واجذب.....
۲۱۱.....	۱-۷-۴ مبانی برنامه‌ریزی دما برای فرایند واجذب.....
۲۱۳.....	۲-۷-۴ تجزیه کیفی طیف برنامه‌ریزی دمایی برای فرایند واجذب.....
۲۱۷.....	۳-۷-۴ تجزیه کمی طیف برنامه‌ریزی دمایی برای فرایند واجذب.....
۲۲۰.....	۸-۴ خلاصه نکات کلیدی.....
۲۲۲.....	تمرین.....
۲۲۵.....	مراجع.....

فصل پنجم

۲۲۷.....	واکنش‌های پیچیده سطح: کاتالیز کردن و حکاکی نمودن.....
۲۲۷.....	۱-۵ اندازه‌گیری سینتیک سطح و مکانیزم واکنش.....
۲۳۱.....	۲-۵ فرایند هابر بوش.....

۲۳۷	۳-۵ از سینتیک میکروسکوپی تا کاتالیست.....
۲۴۰	۴-۵ سنتز فیشر تروپ و شیمی آن.....
۲۴۵	۵-۵ کاتالیست‌های سه گانه خودروها.....
۲۴۹	۶-۵ پیش برنده‌ها.....
۲۵۰	۷-۵ سموم.....
۲۵۲	۸-۵ نوسانات سرعت و شکل‌گیری الگوی زمان - فضا.....
۲۵۶	۹-۵ حکاکی.....
۲۵۶	۱-۹-۵ گازی کردن زغال سنگ و حکاکی نمودن گرافیت.....
۲۵۷	۲-۹-۵ حکاکی سیلیکون در محلول‌های آبی فلوراید.....
۲۶۱	۳-۹-۵ حکاکی و رشد گزینشی سطوح.....
۲۶۵	۱۰-۵ خلاصه نکات کلیدی.....
۲۶۷	تمرین.....
۲۷۰	مراجع.....

فصل ششم

۲۷۴	رشد و اپیتاکسی.....
۲۷۴	۱-۶ کشش و تنش.....
۲۷۵	۲-۶ انواع فصول مشترک.....
۲۷۶	۳-۶ انرژی سطح و کشش سطح.....
۲۷۶	۱-۳-۶ سطوح مایع.....
۲۷۸	۲-۳-۶ سطوح جامد.....
۲۷۹	۴-۶ شیوه‌های رشد.....
۲۷۹	۱-۴-۶ رشد مایع روی جامد.....
۲۸۲	۲-۴-۶ رشد جامد روی جامد.....
۲۸۳	۳-۴-۶ کشش در رشد جامد بر روی جامد.....
۲۸۷	۵-۶ رشد در شرایط غیر تعادلی.....
۲۸۷	۱-۵-۶ ترمودینامیک در برابر سینتیک.....
۲۸۹	۲-۵-۶ شیوه‌های غیر تعادلی رشد.....
۲۹۳	۶-۶ روش‌های رشد لایه‌ها.....
۲۹۳	۱-۶-۶ اپیتاکسی پرتو مولکولی.....
۲۹۴	۲-۶-۶ رسوب دهی بخار شیمیایی.....
۲۹۴	۳-۶-۶ روش‌های فنا شوندگی.....

۲۹۶	.....	۷-۶ فیلم‌های لانگموئیر.....
۲۹۹	.....	۸-۶ فیلم‌های لانگموئیر - بلاژه.....
۲۹۹	.....	۱-۸-۶ شکل‌گیری انحنای سطح مایع با دیواره.....
۳۰۱	.....	۲-۸-۶ لایه نشانی عمودی.....
۳۰۲	.....	۳-۸-۶ جدا شدن افقی (روش شافر).....
۳۰۴	.....	۹-۶ تک لایه‌های خود سامان.....
۳۰۵	.....	۱-۹-۶ آمفیفل‌ها و برهم کنش‌های پیوندی.....
۳۰۵	.....	۲-۹-۶ مکانیزم شکل‌گیری تک لایه‌های خود سامان.....
۳۱۰	.....	۳-۹-۶ خود سامانی فیلم‌های نازک معدنی.....
۳۱۱	.....	۱۰-۶ خلاصه مفاهیم کلیدی.....
۳۱۲	.....	تمرین.....
۳۱۴	.....	مراجع.....

پیوست‌ها

۳۱۹	.....	پیوست الف
۳۱۹	.....	الف-۱ ثابت‌های اساسی.....
۳۱۹	.....	الف-۲ ضرائب تبدیل.....
۳۲۰	.....	الف-۳ پیش‌وندها.....
۳۲۱	.....	پیوست ب
۳۲۱	.....	ب-۱ حروف اختصاری.....
۳۲۴	.....	پیوست ج
۳۲۴	.....	نشانه‌ها.....
۳۲۹	.....	پیوست د
۳۲۹	.....	عبارت‌های مفید ریاضی.....
۳۳۱	.....	پیوست هـ) فرهنگ لغات.....
۳۳۱	.....	به ترتیب الفبای فارسی.....
۳۴۶	.....	به ترتیب الفبای انگلیسی.....
۳۵۹	.....	پیوست موضوعی.....

مقدمه مترجم

حدود پانزده سال پیش، هنگامی که یکی از دوستانم در ستاد ویژه توسعه فناوری نانو به نام مهندس علی محمد سلطانی مطالب ارزشمندی را پیرامون علوم و فناوری نانو در یک سخنرانی در اتاق شورای پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران ارائه نمود، به اهمیت موضوع پی بردم و دریافتم که کارکردن در مقیاس نانو و جایجائی ملکول‌ها، دیگر یک تخیل و خواب و خیال نیست بلکه یک تحول در عرصه علم، دانش و فناوری است. لذا بر آن شدم تا جهت‌گیری تحقیقاتی و آموزشی خود را تغییر داده و جایگاه علوم و فناوری نانو را در حوزه مهندسی شیمی بیابم. این تغییر رویکرد باعث شد تا ضمن تأسیس انجمن نانوفناوری ایران که با همفکری و همیاری بسیاری از فرهیختگان جامعه علمی تحقق یافت، آزمایشگاه پدیده‌های انتقال و فناوری نانو را نیز به منظور ایجاد یک فضای پژوهشی جدید در دانشکده مهندسی شیمی پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران راه اندازی نمایم. متعاقب آن، مقطع دکتری نانوفناوری در این پردیس تأسیس، دروس اختصاصی مرتبط با این عرصه نوین علمی تدوین و موضوعات زیادی نیز در قالب طرح‌های تحقیقاتی و پروژه‌های دانشجویی تعریف گردید که به لطف خدا تعداد زیادی از دانشجویان با استعداد و با انگیزه در سطح تحصیلات تکمیلی به ویژه در مقطع دکتری فارغ‌التحصیل شدند و یا در حال تحصیل می‌باشند. حاصل این تلاش‌ها ده‌ها مقاله، رساله و گزارش‌های تحقیقاتی است که با همت دانشجویان عزیزم به ثمر نشسته که غالباً در دسترس عموم قرار گرفته است. انصافاً حرکت سریع و رو به جلویی که ایجاد شده است، ایجاب می‌کند تا نقش فناوری نانو در همه زمینه‌ها مورد توجه قرار گیرد. در این رابطه نقش پیشرو و موثر ستاد ویژه توسعه فناوری نانو نیز غیر قابل انکار است. آنچه در این کتاب به زیور تبع آراسته شده، تبیین یکی از جبهه‌های مطرح در این حوزه علمی است که تحت عنوان علم سطح مورد بررسی قرار گرفته و توجه بسیاری از مراکز آموزشی و تحقیقاتی را در سطح جهان به خود معطوف داشته است.

دانشگاه برکلی با مروری بر روند فزاینده رشد علم در بیش از ۵۰ سال گذشته به اهمیت و ارتباط علم سطح با علوم و فناوری نانو پرداخته است. در ژاپن، از سال ۱۹۷۹ انجمن علم سطح تشکیل و در پرتو آن گردهمائی-هائی را با محوریت فناوری نانو تشکیل داده و طی آن مباحثی چون دینامیک سطح، ساخت و کاربرد نانو مواد و سطوح نانو ساختار، روش‌های مشخصه یابی و آنالیز سطح را مورد بررسی قرار داده است. در کره جنوبی علم سطح و فناوری نانو کانون توجه پژوهش‌گران دانشگاه‌ها شده است که با تلاش‌های روز افزون دانشمندان، افق روشنی را نوید می‌دهد. در رومانی مرکز فناوری نانو و علم سطح ایجاد گردیده است. در آلمان آزمایشگاه فناوری و علم سطح فعال شده است. دانشگاه زوریخ سوئیس، با تأسیس آزمایشگاهی تحت عنوان فناوری و علم سطح موسوم به LSST^۱، آموزش و تحقیق پیرامون موضوع را هدف قرار داده و به مباحثی چون دارکردن سطح، علم اصطکاک، سایش سطح، نیروهای سطحی، شیب سطح و روش‌های پیشرفته آنالیز سطح پرداخته است.

برای یافتن علت این همه توجه، کافی است به اهمیت این نکته بپردازیم که علم سطح به موضوعاتی چون کاتالیست‌های غیرهمگن، ساخت ابزارهای نیم‌رسانا، سلول‌های سوختی، تک لایه‌های خود سامان، مواد چسبنده و ... مرتبط می‌شود. علم سطح کاربردهای مواد پیچیده، زیست سازگار، مغناطیسی، نوری، الکترونی و الکترونی-نوری را مورد بررسی قرار می‌دهد. اساساً دانش پدیده‌های سطحی به بررسی برهمکنش مولکول‌های مرز میان دو فاز حل‌نشده و متمایز پرداخته و خواص ترمودینامیکی توده فازها را تشریح می‌کند. برای مثال تمایل به کروی بودن قطرات، اساس عملکرد شوینده‌ها و ... با کمک این شاخه از علم قابل توجیه است. در جایی دیگر تمام روابط ترمودینامیکی با فرض بر صاف و تخت بودن سطوح بدست آمده است. در حالی که سطوح، به طور مطلق صاف نیستند. علم سطح نه تنها به تشریح این مطلب می‌پردازد که شیمی و فیزیک سطح را نیز توصیف می‌کند. شیمی سطح، واکنش‌های شیمیایی فصل مشترک مواد را بررسی می‌کند ولی مطالعه تغییرات فیزیکی فصل مشترک و مباحثی چون حالت سطح، نفوذ سطحی، بازسازی سطح، پراکندگی و خود سامانی نانو ساختارها بر روی سطح و ...؛ با فیزیک سطح توصیف می‌شود که البته در بعضی موارد با شیمی سطح نیز هم‌پوشانی دارد. نکته دیگری که در مطالعات علم سطح اهمیت دارد، آنالیز شیمیایی و فیزیکی است. روش‌های آنالیز سطح، کلید درک و مشخصه‌یابی در صنایع پیشرفته است. بدین ترتیب برای مرتفع نمودن مشکلات صنایع، می‌توان با استفاده از جدیدترین روش‌های مشخصه‌یابی؛ به راه حل‌های مناسب و اقتصادی دست یافت. مهمترین این روش‌ها عبارتند از: طیف‌نگاری پرتو ایکس، طیف‌نگاری الکترون اوژه، پراش الکترونی کم‌انرژی (LEED¹)، طیف‌نگاری افت انرژی الکترونی، طیف‌نگاری واجذب حرارتی، طیف‌نگاری پراکنش یونی و ... که بعضاً در این کتاب مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین میکروسکپ پیمایشی تونل‌زنی (STM²) از جمله روش‌های مدرن آنالیز فیزیکی است که توان و اشتیاق دانشمندان را برای اندازه‌گیری ساختار فیزیکی سطوح مضاعف نموده و به نقش نانوفناوری، جلوه بیشتری داده است.

در اینجا لازم است ارتباط بین علم سطح و فناوری نانو بررسی شود. این فناوری رابطه معنی‌داری بین شیمی آلی، علم مواد و سطح ایجاد نموده و طی چندین سال اخیر نه فقط به خاطر داشتن پتانسیل بالا بلکه به دلیل نقش موثر آن در بررسی پدیده‌های کوانتومی؛ توجه دانشمندان زیادی را به خود جلب کرده است. در سیستم‌های نانو مقیاس، چون اتم‌های زیادی بر روی سطح قرار می‌گیرند، مساحت، نقش مهمی پیدا می‌کند. برای مثال قابلیت کاتالیستی مواد نانو ساختار که حاوی نانو ذرات هستند، به شدت افزایش می‌یابد. به طور کلی یکی از علل تأثیر نانو بودن ساختار بر خواص جسم، آن است که هر چه تعداد مولکول‌های سطح زیادتر باشد، انرژی سطحی نیز بیشتر می‌شود. لذا آگاهی از خواص سطح - در انتخاب جسم برای یک هدف معین - اهمیت بالایی دارد.

اما آنچه در این کتاب مطرح شده است، تشریح ابعاد مختلف موضوع است به طوری که در اولین فصل به ساختار سطح پرداخته شده و در پرتو آن سطوح تمیز؛ بازسازی و ساختار مواد و نوارهای جذبی و نهایتاً مقوله ارتعاش در جامدات مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل دوم ابزارهای مشخصه‌یابی (میکروسکپ‌های الکترونی؛

1- Low Energy Electron Diffraction

2- Scanning Tunneling Microscopy

طیف نگاری و...) و روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل سطح مطرح می‌شود. سپس مبحث جذب شیمیایی و فیزیکی همراه با انواع برهمکنش‌های روی سطح در فصل سوم ارائه شده و طی آن مدل‌هایی از جذب سطحی جسم ارائه گردیده است. در فصل چهارم ترمودینامیک و سینتیک فرایندهای سطح تشریح شده؛ موضوعاتی چون فرایند جذب و واجذب؛ سینتیک جذب؛ اندازه‌گیری‌های ترمودینامیکی و تجزیه کمی و کیفی طیف واجذب مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل پنجم به واکنش‌های پیچیده روی سطح پرداخته شده و طی آن مباحثی چون اندازه‌گیری سینتیکی؛ سنتز فیشر تروپ؛ حکاکی و رشد گزینشی نقاط سطح تبیین می‌شود. در فصل پایانی کتاب، بحث جدیدی تحت عنوان رشد و اپیتاکسی مطرح می‌گردد. در این بخش به معرفی انواع فصول مشترک؛ انرژی سطوح مایع و جامد؛ شیوه‌های رشد؛ فیلم‌های لانگمویر؛ آمفیفل‌ها و نهایتاً به نحوه شکل‌گیری لایه‌های خود سامان پرداخته می‌شود. از ویژه‌گی ممتاز این کتاب وجود فرهنگ لغات مرتبط با موضوعات مطروحه است که در دو بخش انگلیسی- فارسی و فارسی- انگلیسی تنظیم و در قسمت انتهایی (بعد از ضمائم) ارائه شده است. حسن ختام کتاب، یک ضمیمه موضوعی است که با استفاده از آن می‌توان به تناسب نیاز به مباحث مورد نظر در متن کتاب دست یافت.

آنچه که در انتهای این عریضه باید اذعان نمود ناتوانی و نقطه ضعف‌های اینجانب در ارائه حق مطلب است که امیدوارم با اظهارنظر فرهیختگانی که کتاب را مطالعه می‌نمایند، بتوان در فرصت‌های بعدی جبران نمود. سخن آخر اینکه در جریان ترجمه این اثر؛ از همکاری و مساعدت دانشجویان و دوستانی چون دکتر مهرنوش آتش‌فراز؛ مهندس مهدی اکبری؛ مهندس هدایت عزیزپور؛ رقیه جعفری، سمیه پورعبداللهی و مرآت شریعتی نیاسر که در تحقق این مهم نقش مؤثری داشتند، تقدیر و تشکر می‌نمایم. سرانجام سخن اینکه وظیفه دارم از دو عزیز دیگر، آقایان حمیدرضا حقیقی اتابک و حامد شریعتی نیاسر که در تمام طول راه به صورت پیوسته، حقیر را یاری نمودند تشکر ویژه‌ای داشته باشم. همچنین از کلیه کارکنان مؤسسه انتشارات دانشگاه که صبورانه در ویرایش و تدوین نهایی کتاب اینجانب را یاری نمودند کمال تشکر و امتنان را دارم. و بالاخره از دوست، همکار و برادر گرامیم جناب آقای دکتر علی مقاری استاد محترم شیمی فیزیک دانشگاه تهران که با راهنمایی‌های ارزنده خود نقش به‌سزائی برای درک اینجانب از مفاهیم تخصصی متون کتاب ایفا نمودند، بسیار سپاسگزارم.

مجتبی شریعتی نیاسر

استاد دانشکده مهندسی شیمی

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشگاه تهران

شهریور ۱۳۹۱

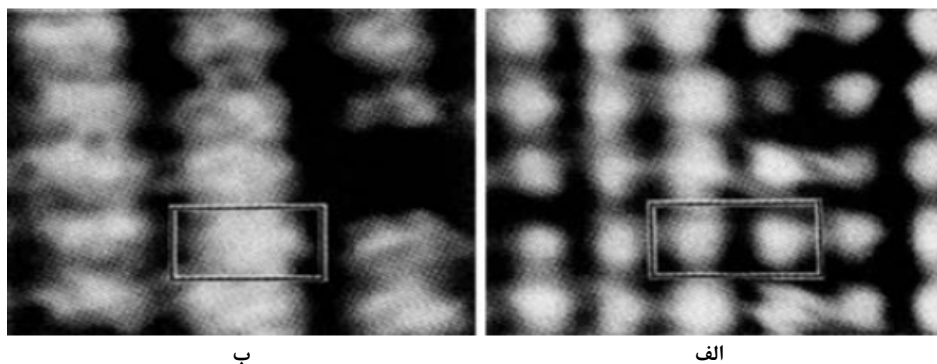
مقدمه

هنگامی که در شهر پیتزبارو^۱ در مقطع کارشناسی، مصمم به آموختن مطالبی درباره علم سطح شدم، "جان یاتز"^۲ یک نسخه از کتاب «شیمی، فصل مشترک فلز - گاز» نوشته "رابرت و مک کی"^۳ را در اختیارم قرار داد و از من خواست که آنرا مطالعه کنم. پیشنهاد وی بسیار مناسب بود، چرا که این کتاب آغاز خوبی برای فراگیری مباحث شیمی سطح است؛ اما شایان ذکر است که بحث علم سطح از اوایل دهه ۱۹۸۰ به میزان قابل توجهی تغییر یافته است. این علم با اختراع میکروسکوپ تونل زنی پیمایشی^۴ در سال ۱۹۸۳ توسط "روهرر و بینینگ"^۵ [۳ و ۲]، به گونه‌ای فراموش نشدنی متحول شد و امکان تصویربرداری مستمر سطوح و گونه‌های پیوندهای سطحی با دقت اندازه اتمی فراهم شد. اندکی پس از آن، "ایگلر و شوایتزر"^۶ [۴] نشان دادند که می‌توان اتم به اتم یک ماده را تغییر داد. همچنین با پیشرفت اجتناب‌ناپذیر صنعت نیمه‌هادی‌ها که هر روز کوچک‌تر، سریع‌تر، ارزان‌تر و بهتر ساخته می‌شوند، این فناوری ارتباط بیشتری با سطوح پیدا می‌کند. STM هم شرایط عینیت‌بخشیدن به مکانیک کوانتوم را فراهم کرد که پیش از این چنین امکانی هرگز وجود نداشت؛ به‌عنوان مثال، دو تصویر از سطح Si(100) را نشان می‌دهیم. در شکل [۱ الف]، یک حالت پیوندی و در شکل [ب]، یک حالت غیرپیوندی نشان داده شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، حالت غیرپیوندی، نقطه‌ای مابین اتم‌ها را نشان می‌دهد، در حالی که حالت پیوندی، افزایش چگالی الکترونی بین اتم‌ها را نمایان می‌سازد. علم سطح همواره در ارتباط با علوم نانو مقیاس مطرح بوده است، هرچند هرگز این‌گونه معرفی نشده است. کاتالیست‌ها قلمرو سنتی شیمی سطح بوده‌اند. با ظهور فناوری نانو مشخص شد که این فناوری با کنترل مولکولی ماده در سطح ارتباط زیادی دارد. در این کتاب تلاش شده تا دینامیک علم سطح، به‌عنوان زیرساخت علمی کاتالیزورهای ناهمگن و فناوری نانو از نظر دانشمندان مورد بررسی قرار گیرد.

کاتالیست‌های ناهمگن

یکی از مهمترین انگیزه‌های مطالعه واکنش‌های شیمیایی سطوح، تمایل به درک واکنش‌های کاتالیستی ناهمگن است. کاتالیست ناهمگن پایه و اساس صنایع شیمیایی کنونی است. نتیجه کاربرد این کاتالیست‌ها، میلیاردها پوند ارزش در فعالیت‌های اقتصادی است. بی‌تردید صنایع شیمیایی را نمی‌توان بدون کاربرد مناسب کاتالیست‌های ناهمگن موجود مطرح کرد. هدف این کتاب مروری بر شیمی کاتالیستی نیست، بلکه درک این واقعیت که چرا فعالیت کاتالیستی اتفاق می‌افتد و چگونه می‌توان آنرا کنترل کرد، مورد توجه است.

1- Pittsburgh
2- John Yates
3- Robert and McKee
4- Scanning Tunneling Microscopy (STM)
5- Binnig and Rohrer
6- Eigler and Schweitzer



شکل ۱- حالت‌های الکترونی: الف- پیوندی؛ ب- ضد پیوندی روی سطح Si(100) که توسط STM تصویربرداری شده است.

نخست باید به تعریف کاتالیست و نقش فرایندی آن پرداخت. کلمه کاتالیست دارای ریشه یونانی به معنی آزادکننده است و نخستین بار توسط "برزیلیوس"^۱ در سال ۱۸۳۶ به کار رفت [۵]. "آرمسترانگ"^۲ کلمه کاتالیست را در سال ۱۸۸۵ پیشنهاد کرد. کاتالیست به یک جداکننده فعال شیمیایی اطلاق می‌شود که در واکنش شیمیایی شرکت می‌کند، اما مصرف نمی‌شود. کاتالیست همان‌گونه که در شکل [۲] نشان داده شده است، اثر خود را با تغییر سد انرژی فعال‌سازی نشان می‌دهد. کاتالیست با کاهش ارتفاع یک سد انرژی فعال‌سازی، به واکنش سرعت می‌بخشد. در عین حال، ویژگی‌های حالت تعادلی را تغییر نمی‌دهد. شایان ذکر است که هر چند سینتیک یک واکنش توسط ارتفاع نسبی سدهای انرژی فعال‌سازی (همراه با ضرایب پیش‌نمایی آرنیوس) تعیین می‌شود، ولی ثابت‌های تعادلی با استفاده از وضعیت نسبی انرژی حالت اولیه و نهایی، در ابتدا و انتها مشخص می‌شوند.

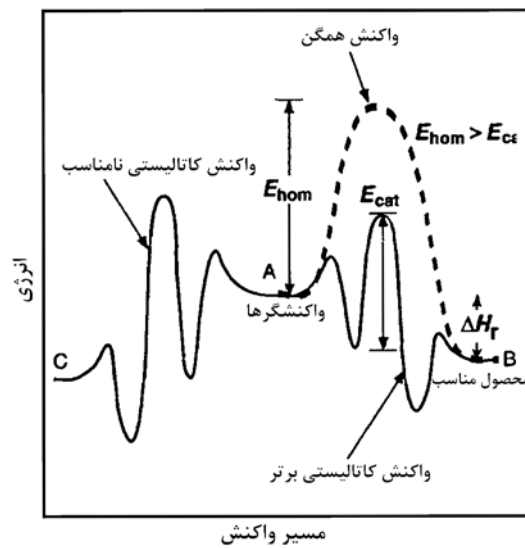
بسیار مهم است به خاطر داشته باشیم که فقط شتاب واکنش‌ها عامل کلیدی در فعالیت کاتالیستی نیست. اگر کاتالیست‌ها به تنهایی موجب شتاب واکنش‌ها باشند، به اندازه‌ای که واقعاً مهم هستند، مؤثر نخواهند بود. کاتالیست‌ها فقط برای شتاب‌بخشیدن به واکنش‌ها طراحی نمی‌شوند؛ حتی بهترین نوع آنها، این نقش را به صورت گزینشی دارند. به عبارت دیگر، سرعت یافتن واکنش‌های هدف (نه هر واکنشی) مهم است. این مطلب در شکل [۲] هم نشان داده شده است، به طوری که سد انرژی فعال‌سازی برای محصول موردنظر و مطلوب B بیشتر از سد انرژی محصول نامطلوب C کاهش می‌یابد.

چرا سطوح؟

واکنش‌های ناهمگن در سیستم‌هایی اتفاق می‌افتد که در آنها دو فاز یا بیشتر وجود داشته باشند؛ برای مثال، واکنش‌ها در فصل مشترک فازها (نظیر مایع- جامد یا گاز- جامد) رخ می‌دهند. "فصل مشترک" به محل تماس دو فاز اطلاق می‌شود. فصل مشترک مایع- جامد و گاز- جامد مورد توجه ویژه هستند، زیرا سطح جامد مکانی را

1- Berzelius
2- Armstrong

برای ته‌نشینی و تثبیت ماده کاتالیستی فراهم می‌کند. با عمل "تثبیت" می‌توان اطمینان یافت که کاتالیست همراه با محصولاتی که تولید می‌شوند، شسته نشده و از بین نمی‌رود. اغلب کاتالیست‌ها به شکل ذرات کوچک (عامل فعال) ساخته می‌شوند، که به سطح جامد با (پایه) مساحت بالا می‌چسبند.



شکل ۲- انرژی فعال‌سازی و ارتباط آن با یک کاتالیست فعال و گزینشی: الف) واکنش‌دهنده‌ها؛ ب) محصول مطلوب؛ ج) محصول نامطلوب. E_{hom} انرژی فعال‌سازی برای واکنش همگن؛ E_{cat} سد فعال‌سازی با استفاده از کاتالیست؛ ΔH_T تغییر آنتالپی واکنش دهنده‌ها در مقایسه با محصول.

با این حال، سطوح نه تنها به دلیل فراهم کردن امکان تماس فازها، بلکه به دلیل اینکه مکانی برای استقرار کاتالیست را فراهم می‌کنند، از اهمیت بالایی برخوردارند. سطح یک جامد از نظر ماهیتی با بخش‌های دیگر آن (توده) متفاوت است. پیوند روی سطح هم با پیوندهای زیر سطح فرق می‌کند. بنابراین باید انتظار داشت که شیمی سطح هم یک بحث مستقلی است. اتم‌های سطح همانند اتم‌های توده جامد نمی‌توانند نیاز پیوندی خود را تأمین کنند؛ بنابراین این اتم‌ها همواره تمایل دارند که به منظور تأمین نیازهای پیوندی خود با یکدیگر و یا اتم‌های بیرونی واکنش دهند.

واکنش‌های ناهمگن در کجا مهم هستند؟

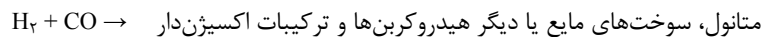
به‌منظور آشنایی با گستره وسیعی از موضوعات مرتبط با کاتالیست‌های ناهمگن به فهرست سیستم‌های واکنش کاتالیستی که آن‌را به‌صورت غیررسمی "دائرة‌المعارف داده‌های شیمی‌صنعتی فیم" ^۱ می‌نامند، مراجعه کنید. این واکنش‌ها نه تنها به‌دلیل اینکه مفاهیم متنوع شیمیایی مهم را نشان می‌دهند، بلکه از نظر سیاسی و تاریخی هم از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

فرایند هابر - بوش ^۲



کودهای نیتروژنی پایه کشاورزی مدرن را تشکیل می‌دهند. تولید ارزان‌قیمت کودها بدون استفاده از فرایند هابر بوش امکان‌پذیر نیست. سنتز آمونیاک، فقط روی کاتالیست آهن اصلاح‌شده با فلز قلیایی انجام می‌گیرد و این واکنش در مقابل ساختار حساس است. تاکنون پرسش‌های زیادی در این رابطه مطرح شده است؛ از جمله اینکه چرا کاتالیست آهن؟ منظور از "اصلاح شده" چیست و چرا یک فلز قلیایی به عنوان "اصلاح کننده" عمل می‌کند؟ یک واکنش حساس به ساختار چیست؟ در پایان این کتاب تمامی پاسخ‌ها روشن خواهد شد.

شیمی "فیشر تروپ FT"^۳



شیمی FT، گاز سنتز ($H_2 + CO$) را به سوخت‌های مفید و مواد شیمیایی واسطه تبدیل می‌کند. این فرایند پایه صنعت سوخت‌های سنتزی است و به‌منظور جلوگیری از رکود اقتصاد وابسته به نفت خام اهمیت بسیار داشته است؛ برای مثال می‌توان به اقتصاد آلمان در دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ و اخیراً هم به اقتصاد آفریقای جنوبی اشاره کرد. این فرایند بیانگر روشی برای تبدیل گاز طبیعی یا ذغال سنگ به واسطه‌های شیمیایی و سوخت‌های مفیدتر است. امروزه توجه به شیمی FT بار دیگر گسترش یافته است، زیرا افزون بر منابع معمول (گاز طبیعی و ذغال سنگ)، ممکن است زیست توده ^۴ هم برای تولید گاز سنتز به‌کار گرفته شود.

واکنش‌های FT اغلب روی کاتالیست‌های آهن یا کبالت انجام می‌شوند. واضح است که موضوع واکنش‌پذیری مهم است، زیرا در طی واکنش امکان تولید محصولات متنوعی فراهم می‌شود، اما تنها تعدادی از آنها برای یک کاربرد خاص مناسب هستند.

کاتالیست سه راهه



1- Industrial Chemistry Hall of Fame; ICHF

2- Haber-Bosch

3- Fischer-Tropsch

4- Biomass

کاتالیست‌ها به همان اندازه که در تولید مولکول‌های مناسب نقش دارند، در از بین بردن آنها هم می‌توانند موثر باشند. افزایش بهره‌برداری از اتومبیل موجب توجه روزافزون به آلودگی هم شده است و تبدیل کاتالیستی گازهای نیتروژن‌دار خروجی از اگزوز به مواد شیمیایی بی‌خطر نیز سهم گسترده‌ای در کاهش آلودگی ناشی از اتومبیل‌ها داشته است. کاتالیست سه راهه از پلاتین، رودیم و پالادیم تشکیل شده است؛ سرب به سرعت کاتالیست را تخریب می‌کند. چگونه این تخریب (کاهش واکنش پذیری) اتفاق می‌افتد؟

پردازش نیمه‌هادی‌ها و فناوری نانو

مباحث بالا به موضوع سنتی شیمی کاتالیست ناهمگن مربوط می‌شود. درعین حال علم نوین سطح، زمینه‌های دیگری را در حوزه فناوری میکرو و نانو مطرح می‌کند که از اهمیت خاصی برخوردارند [6]. امروزه جدیدترین پردازشگرها در رایانه‌های شخصی قدرتمند از ابعاد بسیار کوچکی با پهنای ۱۸۰ نانومتر ساخته شده‌اند که به زودی تا ۱۳۰ نانومتر کاهش خواهند یافت. ضخامت لایه‌های عایق اکسیدی در حال حاضر بین ۵-۱۰ لایه اتمی است. بدون تردید اگر قرار باشد پردازش نیمه‌هادی‌ها ادامه یابد و در ابعاد کوچک‌تری هم ساخته شود، به درک خواص و واکنش‌های شیمیایی مواد در سطح مولکولی نیاز خواهیم داشت. تاکنون ثابت شده که تمیزی سطح یکی از مهمترین عوامل در حفظ کیفیت یک ابزار است. درعین حال، مهندسان در نهایت با کمبود «فضا در پایین» مواجه خواهند شد. همچنین با کاهش اندازه سیستم‌ها، توجه به مکانیک کوانتوم به شدت اجتناب‌ناپذیر می‌شود. ظهور دنیای جدید ابزارهای نو نظیر ترانزیستورهای تک‌الکترونی که به‌تازگی ساخته شده‌اند، متأثر از قوانین مکانیک کوانتم خواهد بود. تداوم ساخت و مطالعه چنین ابزارهایی به درک دقیقی از لگوهای اتمی - ایجاد ساختارهایی بر مبنای اتم به اتم - نیاز دارد.

شکل [۳] تصویر بعضی از ابزارها و ساختارهایی را که روی سطح تعبیه شده‌اند، نشان می‌دهد. تنها ابزارهای الکترونیکی نیستند که مورد توجه قرار گرفته‌اند، بلکه سیستم‌های میکروالکترومکانیکی نیز از اهمیت زیادی برخوردارند. اولین مثال تجاری، شتاب‌سنج‌هاست که موجب فشردن کیسه‌های هوا در ماشین‌ها می‌شود. این ساختارها به واسطه برخی حکاکی‌ها و واکنش‌های رشد روی سطح ایجاد می‌شوند.

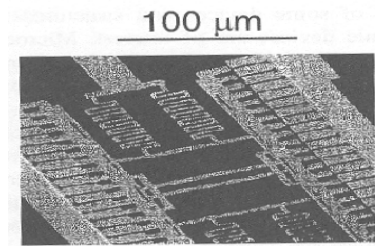
کنترل نهایی حکاکی و رشد از طریق تشکیل نوبه‌ای اتم‌ها امکان‌پذیر است. شکل [۴] نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تمام اتم‌های هیدروژن را از یک سطح سیلیکونی جدا کرد. سپس اتم‌های بدون پوشش با اکسیژن پوشش داده شده و حکاکی می‌شوند. در شکل [۴ ب] ساختاری از اتم‌های گزنون را می‌بینیم. راههای متعددی برای ایجاد این ساختارها در سطح وجود دارند. در ادامه بسیاری از این راهها را که طی آن فرد باید الگو طراحی کند، بررسی خواهیم کرد. همچنین ساختارهای خودآرا را که به‌طور خودبه‌خودی و بدون نیاز به جابه‌جا کردن اتم‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده ساختار شکل می‌گیرند، مورد بررسی قرار خواهیم داد.

سایر زمینه‌های مرتبط

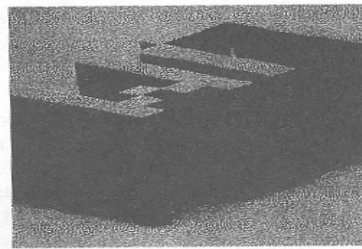
علم سطح به عرصه وسیعی از کاربردها و علم پایه اشاره دارد. مباحثی نظیر خوردگی، چسبندگی و سایش با خواص بین سطحی ارتباط تنگاتنگی دارد. امروزه اهمیت فرآیندهای ناهمگن شیمی اتمسفر و بین سیاره‌ای

مقدمه □ غ

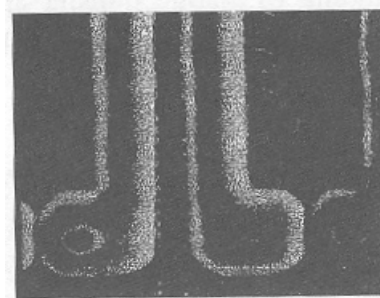
موردتوجه قرار گرفته است. در واقع تمام هیدروژن‌های مولکولی موجود در فضای بین سیاره‌ای باید روی سطح دانه‌ها و ذرات غبار شکل می‌گرفت. نقش شیمی‌سطح در تشکیل بیش از ۱۰۰ مولکول دیگری که در فضا شناسایی شده‌اند، همواره به‌عنوان یک پرسش باقی مانده است [۸ و ۷]. بسیاری از واکنش‌های الکتروشیمیایی به‌صورت ناهمگن اتفاق می‌افتند. درک ما از انتقال بار در فصل مشترک مواد و تأثیر ساختار سطح و گونه‌های جذب‌شده هنوز کافی نیست.



(الف)

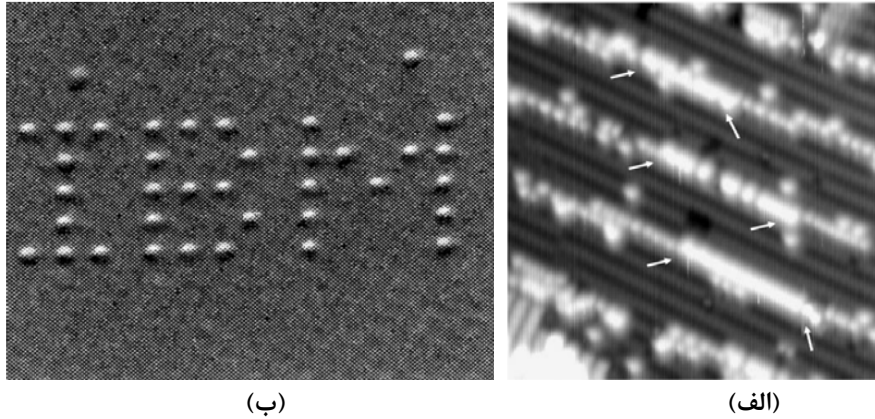


(ب)



(ج)

شکل ۳- نمونه‌ای از ابزارها و ساختارهایی که می‌توان روی سطوح ایجاد کرد: الف) تصویری از تنگستن معلق سه لایه با فنرهای فشرده و محرک‌های شانه مانند؛ ب) حروفی با جداره‌های عمودی به ارتفاع $200 \mu\text{m}$ که با لیتوگرافی ماوراء بنفش ساخته شده است؛ ج) یک مدار CMOS که با لیتوگرافی اشعه X و به‌منظور دستیابی به ابعاد بحرانی ۲۰ نانومتر ساخته شده است.



(ب)

(الف)

شکل ۴- نمونه‌هایی از دستکاری سطح با دقت اتمی: الف) نانو لیتوگرافی می‌تواند با بهره‌گیری از ابزار موجود در میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی، اتم‌های هیدروژن موجود در انتهای سطح سیلیکونی را حذف کند؛ ب) برداشتن دقیق دانه‌های اتم با استفاده از نوک ابزار STM و به‌منظور نوشتن روی سطح.

ساختار کتاب

هدف از این کتاب فراهم کردن زمینه مناسبی برای درک تبدیلات شیمیایی و شکل‌گیری ساختارهای سطح است، که در فصل‌های پنجم و ششم مطرح شده است. به‌منظور دستیابی به این هدف ابتدا باید واژگان مناسبی جمع‌آوری شوند و پس از آن با مجموعه‌ای از راهکارها و اصولی آشنا شویم که نگرش ما را در تعریف و پیش‌بینی‌ها اصلاح کند. فصل اول ما را با ساختار (هندسی، الکترونی و ارتعاشی) سطوح و مواد جذب‌شده آشنا می‌سازد. این آشنایی، تصویری از اینکه سطوح به چه چیزی شبیه هستند و چگونه با مولکول‌های موجود در زیر سطح مقایسه می‌شوند، به ما ارائه می‌کند. فصل دوم روش‌های بررسی سطح را معرفی می‌کند. در ادامه به‌سرعت درمی‌یابیم که سطوح، گاهی در عمل مشکلات منحصر به فردی را نشان می‌دهند. پس از یک معرفی اولیه از علم سطح می‌توان از این فصل عبور کرد. در عین حال، برخی از روش‌ها به تنهایی روش‌هایی برای اصلاح سطح به‌شمار می‌روند. همچنین درک عمیق‌تر فرآیندهای سطح از طریق شناخت روشی برای دستیابی به داده‌ها حاصل می‌شود. بدون شناخت قابلیت‌ها و محدودیت‌های موجود در روش‌های تجربی نمی‌توان استنباط درستی از منابع علمی به‌دست آورد.

پس از طرح مباحث اولیه در دو فصل اول، مفاهیم دینامیکی، ترمودینامیکی و سینتیکی در دو فصل بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مفاهیم امکان درک اینکه چگونه و چرا تبدیلات شیمیایی در سطوح اتفاق می‌افتند را فراهم می‌کند، افزون‌بر آنکه ابزارهای موردنیاز را برای تبیین داده‌ها در مطالعات مربوط به رشد کاتالیست‌ها فراهم می‌کنند.

مباحث هر فصل از مفاهیم ساده آغاز شده و سپس به مبانی پیشرفته می‌پردازد. در عین حال، در هر فصل "موضوعات پیشرفته" هم به‌صورت پراکنده مطرح می‌شود. طرح این موضوعات دو هدف را دنبال می‌کند؛ نخست اینکه مطالبی را فراتر از مقدمات و مبانی اولیه مطرح می‌سازد. دوم آنکه برخی از زمینه‌های مهمی که اغلب

مقدمه □ ق

توصیف آنها در قالب مباحث مقدماتی پیچیده هستند، شفاف‌تر می‌کند. با وجود این، ارائه این‌گونه مطالب زیبایی‌ها و قابلیت‌های علم سطح را بیشتر آشکار می‌سازد. همچنین هر فصل با تمرین‌هایی همراه است، که نه تنها به منظور روشن‌شدن مفاهیم مفید است، بلکه برای بسط مباحث مطروحه هم مؤثرند. و مکمل دیگر قسمت‌های هر فصل هستند.

مراجع:

- [1] M. W. Roberts and C. S. McKee, *Chemistry of the Metal-Gas Interface* (Clarendon Press, Oxford, 1978).
- [2] G. Binnig and H. Rohrer, *Rev. Mod. Phys.* 71 (1999) S324.
- [3] G. Binnig, H. Rohrer, C. Gerber and E. Weibel, *Phys. Rev. Lett.* 49 (1982) 57.
- [4] D. M. Eigler and E. K. Schweizer, *Nature* 344 (1990) 524.
- [5] K. J. Laidler, *The World of Physical Chemistry* (Oxford University Press, Oxford, 1993).
- [6] P. Moriarty, *Rep. Prog. Phys.* 64 (2001) 297.
- [7] J. S. Mathis, *Rep. Prog. Phys.* 56 (1993) 605.
- [8] G. Winnewisser and H. Herbst, *Rep. Prog. Phys.* 56 (1993) 1209.