خواص لایه‌های نازک

لایه های نازک خواص بسیار جالبی دارند که متفاوت از خواص توده ای مواد تشکیل دهنده آنها می باشد. در این مبحث به بررسی رفتار لایه های نازک از دیدگاه خواص مختلف آنها پرداخته شده است که این خواص شامل خواص الکتریکی، خواص مغناطیسی، خواص نوری، خواص مکانیکی، خواص شیمیایی و خواص حرارتی لایه های نازک می باشد.

۱-خواص لایه نازک

خواص لایه های نازک نظیر خواص مکانیکی، نوری، الکتریکی و ... به پارامترهای زیادی وابسته است که این پارامترها مربوط به روش تولید و کیفیت و نوع ماده ی زیر لایه خواهند بود. در مورد روش های لایه نشانی از پارامترهای مربوط به روش تولید می توان به میزان خلا ، جریان گاز عبوری حین فرایند رشد لایه، سرعت لایه نشانی و خلوص مواد پوشش اشاره کرد [۱]. در این مقاله در مورد خواص برجسته لایه های نازک بحث خواهد شد.

۱-۱-خواص مکانیکی

یکی از خواص مهم لایه های نازک خواص مکانیکی می باشد. روش های مختلف تولید و ساخت لایه های نازک، باعث ایجاد عیوب از جمله نابجایی ها در لایه ها می شود و چون در لایه های نازک این عیوب قابلیت حرکت ندارند در جای خود قفل می شوند. غلظت بالای نابجایی ها و عدم تحرک آنها در لایه نازک سبب افزایش خواص مکانیکی نظیر سختی و مقاومت به سایش آنها می شود که قابل مقایسه با بالک ماده نیست. از طرفی، افزایش شدید غلظت نابجایی ها موجب ایجاد تنش در ساختار لایه نازک می شود و از آنجا که معمولا بیشتر روش های لایه نشانی در دمای بالاتر از دمای محیط استفاده می شوند) نظیر روش های PVD و CVD)، مقداری تنش حرارتی نیز در لایه نازک ایجاد می شود که مقدار آن تابع اختلاف دمای لایه نشانی و دمای کاربردی لایه نازک می باشد [۶-۲].

رفتار مکانیکی لایه های نازک مانند استحکام و چسبندگی آن ها سهم بسزایی در کارایی لایه های نازک دارد. عوامل موثر بر خواص مکانیکی شامل اندازه و شکل دانه های تشکیل شده درون لایه ها؛ حضور تهی جاها، نا بجایی ها، خلل و فرج؛ و ... می باشد. تنش در لایه های نازک به دو نوع تنش های گرمایی و تنش های ذاتی تقسیم می شود. تنش نوع اول، به این دلیل ایجاد می شود که اکثر فرایندهای لایه نشانی در دمای بالا انجام می شود و چون مواد مختلف، ضرایب انبساط گرمایی متفاوتی دارند، در هنگام لایه نشانی بین لایه و زیرلایه این تنش ایجاد می شود. دومین نوع تنش که به تنش ذاتی یا داخلی معروف است به عواملی چون فرایندهای رشد غیر تعادلی بستگی دارد و موجب تشکیل ساختار های غیر تعادلی می شود. از دیگر خواص مکانیکی لایه های نازک، استقامت کششی لایه های نازک می باشد. تنش کششی لازم برای اینکه لایه ای ترک بردارد کمیت مهمی است که هر چه میزان آن بزرگتر باشد، لایه سخت تر کشیده می شود. به طور کلی استقامت کششی لایه، تابع ضخامت لایه است. همچنین تشکیل لایه اکسیدی بر روی لایه می تواند باعث افزایش استقامت کششی لایه گردد [۷].

۱-۲- خواص الکتریکی

بررسی خواص الکتریکی مواد عمدتا براساس نظریه نواری صورت می گیرد که در آن ترازهای انرژی الکترونی و چگالی حالت ها، فلز یا نیم رسانا ویا عایق بودن ماده را تعیین می کنند. این ترازهای انرژی در توده مواد و در سطح مربوط به لایه های نازک با یکدیگر متفاوتند. به این ترتیب که برخی ترازهای انرژی ممنوعه در حالت توده مواد تبدیل به ترازهای گسسته مجاز می شوند. همچنین در فصل مشترکی که دو سطح با یکدیگر برهم کنش دارند، ترازهای انرژی دیگری را تحت تاثیر قرار می دهند. کاربرد این مباحث در اتصالات بین قسمت های مختلف مدارهای مجتمع، وسایل میکروالکترونیک، الکترونیک و... با استفاده از لایه های نازک می باشد [۷].

در مواد رسانا صرفنظر از اینکه یک ماده بالک یا لایه نازک باشد، تعدادی حامل بار الکتریکی (n)با بار (q)داریم که با سرعت مشخص (V)در میدان الکتریکی (e)حرکت می کند که سبب عبور جریان با چگالی (j)در ماده می شود.

$$j = nqV$$

در جاییکه μ موبیلیته الکترون هاست؛

$$V = \mu e$$

$$j = \sigma e$$

بنابراین رسانایی مواد (σ) برابر می شود با:

$$\sigma = nq\mu$$

در مورد لایه نازک علاوه بر اینکه تعداد حامل های بار کاهش می یابد، به علت کاهش ضخامت لایه، حرکت الکترون ها نیز محدود می شود. به همین علت الکترون ها با اندک انحراف از مسیر حرکتشان(Surface Scattering)، باعث کاهش رسانایی می شوند. فاصله یک انحراف از مسیر حرکت تا انحراف دیگر را طول پویش آزاد میانگین (Mean Free Path)می نامند که رسانایی ماده تابع این پارامتر می باشد. ضخامت لایه نازک می تواند کمتر از طول پویش آزاد آن گردد، در این حالت، الکترون ها دائما با دیواره لایه نازک برخورد می کند و رسانایی ماده بسیار کاهش می یابد و این به معنی افزایش شدید مقاومت الکتریکی لایه نازک خواهد بود. در لایه های نازک فلزی، مقاومت الکتریکی بیشتر از بالک ماده است که این میزان با افزایش ضخامت لایه نازک، کاهش پیدا می کند.

در ساخت لایه های نازک، سه نوع مورفولوژی می تواند ایجاد شود:

۱-لایه، ساختار کاملا منسجم داشته باشد.

۲- لایه دارای تخلخل باشد.

۳-لایه بصورت ذرات جدا از هم تشکیل شود.

خواص الکتریکی لایه های نازک شدیدا به مورفولوژی آن بستگی دارد. در این میان، بهترین رسانایی مربوط به لایه های نازک

منسجم و کمترین میزان رسانایی درلایه های با ذرات جدا از هم می باشد. در لایه های فلزی منسجم نیز، رسانایی بسیار بیشتر از لایه های فلزی غیر منسجم می باشد. اما برخلاف لایه های فلزی منسجم، با افزایش دما رسانایی لایه های فلزی غیر منسجم افزایش می یابد.

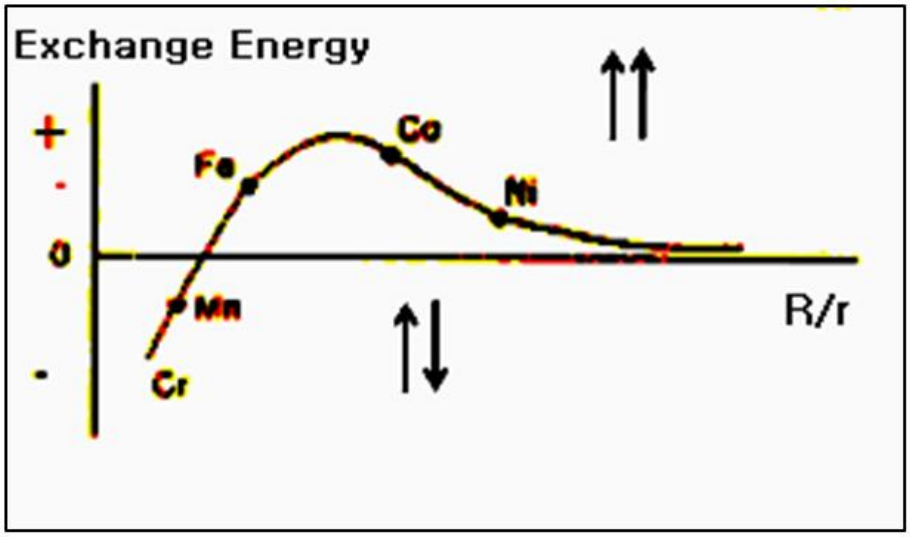
رسانایی لایه نازک منسجم (σ)از رابطه زیر به دست می آید:

$$\sigma = ne^2 l/mV$$

در جاییکه l طول پویش آزاد الکترون، nتعداد حامل های بار، eبار الکترون، mجرم الکترون و V سرعت میانگین الکترون ها در ناحیه فرمی است [۶-۲].

۱-۳- خواص مغناطیسی

اساس خاصیت مغناطیسی مواد به چرخش الکترون به دور خود یا اسپین الکترون (Spin)مربوط است. مطابق شکل ۱، اگر نسبت R/r(شعاع اتم به شعاع اوربیتال تک الکترونی)به گونه ای با شد که میزان انرژی تبادلی (Exchange Energy)در ناحیه مثبت قرار گیرد، ماده می تواند خاصیت مغناطیسی از خود نشان بدهد [۸].



شکل ۱-نمودار تعیین فرومغناطیس وآنتی فرو مغناطیسی مواد[۸]

انرژی تبادلی در واقع انرژی است که موجب موازی شدن اسپین الکترون ها می شود. فلزات واسطه نظیر Fe و Co وNi و Gd جز مواد مغناطیسی طبیعی هستند. به منطقه ای که در آن اسپین الکترون ها موازی و هم جهت است، ناحیه مغناطیسی (Magnetic Domain)گفته می شود. اندازه این دومین ها در حدود ۵۰ میکرومتر می باشد. با کاهش ضخامت لایه نازک خاصیت مغناطیسی نیز کاهش می یابد. زیرا در این حالت به علت افزایش تعداد الکترون های سطحی و آزادی بیشتر این الکترون ها، به سختی می

توان همه الکترون ها را هم جهت و موازی نمود. کاهش بیشتر ضخامت لایه های نازک به کمتر از اندازه دومین مغناطیسی می تواند آنها را به لایه های پارا مغناطیس تبدیل کند. اما در لایه های نازک، آثار پارا مغناطیس و دیا مغناطیس به قدری ضعیف است که به سختی آشکار می شود. خواص فرو مغناطیس به دمای زیرلایه، آهنگ لایه نشانی و اجزای سازنده بستگی دارد. با استفاده از فلزات مغناطیسی Fe)و Co و (Niمی توان لایه های نازک فرومغناطیس تولید نمود که کاربرد وسیعی در ابزار حافظه کامپیوتر دارند زیرا در لایه های نازک به علت کاهش تعداد دومین ها، زمان مغناطیس شدن و مغناطیس معکوس، کاهش می یابد. خاصیت مغناطیسی لایه های نازک به شدت به مورفولوژی و میکروساختار و تاحدودی به شکل هندسی لایه بستگی دارد [۷-۲].

۱-۴-خواص نوری

پدیده های مختلف نوری در مواد شامل بازتاب(Reflection)، جذب(Absorption)، عبور (Transmition)و پراکندگی (Scattering) نور می باشد:

$$R_\lambda+A_\lambda+T_\lambda+S_\lambda = 1$$

به طوری که R_λ درصد بازتاب، A_λدرصد جذب، T_λدرصد عبور و S_λ درصد پراکندگی نور می باشد. پارامترهای اصلی واکنش نور با لایه های نازک شامل ضریب شکست (n:Refraction Index)و ثابت جذب (k:Index of Absorption)می باشد. به طور کلی هیچ ماده ای وجود ندارد که نور را کاملا جذب کند یا آنرا به طور کامل بازتاب کند. تمام جامدات قسمتی از نور را جذب و قسمتی از آن را بازتاب می کنند. چنانچه در ماده ای، $k>>n$باشد یعنی در آن ماده جذب بالا اتفاق می افتد مانند مواد عایق و دی الکتریک ها و اگر$k<$ در لایه های نازک در محدوده نانومتری با ضخامت بالاتر از ۱۰ نانومتر، ضریب شکست (n) لایه از ضریب شکست همان ماده در حالت بالک کوچکتر است و در مقابل، ضریب جذب آن (k) بالاتر از بالک ماده است. بنابراین در لایه های نازک جذب نور بالاتری دارند.

درجه افزایش k و کاهش n تابع پارامترهای لایه نشانی نظیر نحوه لایه نشانی، تخلخل لایه و ضخامت آن می باشد. معمولا برای لایه نشانی با اهداف نوری، از روش های فیزیکی استفاده می شود. از تغییراتی که در ثابت های جذب و بازتاب لایه نازک ایجاد می شود، می توان در کاربردهای وسیعی نظیر آینه ها و لایه های ضدانعکاس (Antireflection)استفاده نمود. در مباحث خواص نوری در لایه های نازک، بیشترین کاربرد مربوط به سیستم های چندلایه است که با ترکیب چند لایه با ضخامت ها و ضریب شکست های متفاوت می توان کاربردهای متفاوتی را ایجاد نمود [۶-۲].

۱-۵- خواص شیمیایی

در لایه های نازک به علت سطح تماس زیاد لایه با محیط، واکنش پذیری لایه نسبت به ماده بالک افزایش می یابد، لذا از این خاصیت لایه های نازک می توان به عنوان سنسور شناسایی مواد شیمیایی استفاده نمود.

NANOCLUB
باشگاه نانو

۱-۶-خواص حرارتی

لایه های نازک از آنجا که نسبت سطح به حجم بالایی دارند لذا تعداد اتمهای سطحی آنها بیشتری دارند و چون اتم های سطحی ماده آزادی عمل بیشتری نسبت به اتم های درون شبکه دارند، به همین دلیل دمای ذوب لایه نازک کمتر از دمای ذوب همان ماده در حالت بالک ماده می باشد [۴-۲].

بحث و نتیجه گیری

در بررسی خواص لایه های نازک مشخص است که خواص لایه نسبت به توده ماده رفتار متفاوتی از خود نشان می دهد. خواص الکتریکی وابسته به نوع عیوب ایجاد شده خواهد بود. در بحث خواص الکتریکی لایه های نازک گفته شد که رسانایی الکتریکی لایه با کاهش ضخامت آن، کاهش می یابد و در مقابل میزان مقاومت الکتریکی در لایه های نازکتر، مقادیر بزرگتری خواهد داشت. با کاهش ضخامت لایه های نازک، میزان مغناطیس شدن آنها نیز کم می شود و در مورد خواص نوری، با کاهش ضخامت لایه، جذب نور در آن افزایش خواهد داشت. همچنین به علت افزایش میزان سطح به حجم در لایه های نازک، تغییر دما و واکنش شیمیایی نسبت به توده ماده با سرعت بیشتری انجام خواهد گرفت.

منابع و مراجع

---

[1] K. N. Chopra & A. K. Maini, "Thin Film and Their Applications in Military and Civil Sectors" Defence Research and Development Organisation, 2010.

[2] M. Ohring, “Yhe Materials Science of thin Films”, Academic press. 1992.

[3] K. N. Chopra & I. Kuar, " Thin Film Device Applications ", Technology and Engineering, 1983.

R. W. Berry, P. M. Hall & M.T. Harris “Thin film Technology”, Van Nostrand Company, 1968.

[5] S.M. Sze “Semiconductor Devices-Physics and technology”, John Wiley, 1985

[6] A. Wagendristel & Y. Wang, “An Introduction of Physics and Technology of Thin Films”, , 1994.

[۷] ع. رازقی زاده، "فیزیک لایه های نازک "، دانشگاه پیام نور:تهران، ۱۳۸۸.

[8]http://www.nitt.edu/home/academics/departments/physics/faculty/lecturers/justin/students/magnetic/exchange/