معرفی روش رسوب فیزیکی بخار برای ساخت قطعات مدار مجتمع

نویسندگان: آرام قادری - Amde2002@gmail.com

مریم فریور - Farivar.maryam@yahoo.com

چکیده: رسوب شیمیایی بخار و رسوب فیزیکی بخار روش‌های کاربردی در کلیه علوم هستند که با توجه به گسترش فناوری‌ها و مخصوصاً صنایع الکترونیک و مدارهای مجتمع، به‌کارگیری این روش‌های بخار به‌صورت فراوان در ساخت قطعات نیمه‌های می‌باشد. در این گزارش به‌صورت مختصر به رسوب‌شیمیایی بخار پرداخته‌شده است.

کلیدواژه: رسوب‌شیمیایی بخار، رسوب فیزیکی بخار، PVD ،CVD.

۱- مقدمه

رسوب فیزیکی بخار یا PVD دربردارنده مجموعه‌ای از روش‌های رسوب‌دهی در خلأ بوده و واژهای عمومی برای توصیف هر یک از چندین روش رسوب‌دهی لایه‌نازک با چگالش بخارات ماده روی سطح یک زیر پایه در خلأ است .کلیه این روش‌ها شامل یک فرآیند فیزیکی مثل تبخیر دمابالا در خلأ ۱ یا کندن مواد با پلاسما ۲ می‌باشند و برخلاف روش CVD پوشش دهی با انجام یک واکنش شیمیایی در سطح زیر پایه همراه نیست .واژه PVD به‌طور دقیق در سال ۱۹۶۶ در کتاب «رسوب‌دهی بخار» نوشته C.F.Powell و همکاران ذکر گردیده است اما در عمل برای اولین بار Michael Faraday در سال ۱۸۳۸ از این روش برای رسوب‌دهی استفاده نمود .از آن زمان تاکنون هرروز روش‌های رسوب‌دهی فیزیکی بخار پیش رفت کرده‌اند تا اینکه امروز به کمک PVD می‌توان ساختارهای لایه‌نازک به ضخامت یک‌لایه اتمی رسوب داد که این در نانو فناوری اهمیت ویژه‌ای دارد.

۱-۱- انواع فرآیندهای PVD

دو معیار اصلی در تقسیم‌بندی روش‌های مختلف PVD وجود دارند که عبارت‌اند از روش تبخیر کردن ماده و منبع انرژی برای فرآیند .بر این اساس اصلی‌ترین انواع روش‌های رسوب فیزیکی بخار که مشتمل بر ۴ مورد هستند در ادامه ذکرشده‌اند.

۱- سیستم تبخیر حرارتی (Thermal evaporation system)

۲- سیستم تبخیر با باریکه الکترونی و یا رسوب فیزیکی بخار با باریکه الکترون

۳- (Electron Beam Evaporation system or Electron Beam physical Vapor Deposition)

۴- رسوب با پاشش یا سیستم پاشش (Sputtering system or sputter Deposition)

۵- رسوب با لیزر پالسی (Pulsed Laser Deposition)

۱-۲- اصول عملکرد PVD

اصولاً تمامی فرآیندهای PVD تحت خلأ انجام می‌شوند و شامل ۴ مرحله کلی می‌باشند که عبارت‌اند از:

۱- تبخیر ۲- انتقال

۳- واکنش ۴- رسوب

- تبخیر :در این مرحله پیش ماده که در PVD جامد می‌باشد توسط یک منبع انرژی به دمای بالابرده می‌شود تا تبخیر رخ دهد .نحوه انجام این مرحله اساس تفاوت روش‌های گوناگون PVD می‌باشد.
- انتقال :مشابه CVD سیستمی برای انتقال بخارات به محفظه واکنش و به سمت زیر پایه وجود دارد.
- واکنش :در برخی موارد ماده تبخیر شده در مرحله انتقال با یک گاز واکنش می‌دهد تا ترکیب موردنظر پوشش حاصل شود ولی اگر ترکیب پوشش و پیش ماده یکسان باشد این مرحله وجود نخواهد داشت.
- رسوب :در این مرحله پوشش با تجمع بخارات در سطح تشکیل می‌شود .در برخی فرآیندهای PVD ممکن است

واکنش‌هایی بین یک گاز واکنش‌پذیر و بخارات موجود در سطح زیر پایه رخ دهد.

۱-۳- کاربردها

به کمک روش‌های PVD می‌توان پوشش‌های نانومتری برای بازه وسیعی از کاربردها ساخت .پوشش‌های دارای مقاومت شیمیایی بالا، مقاومت سایش بالا، مقاومت حرارتی بالا و مقاوم در برابر اکسیداسیون از این دسته هستند .بر این اساس پوشش‌های PVD در شاخه‌های متنوعی ازجمله هوافضا، صنایع خودرویی، تجهیزات پزشکی، قالب برای فرآیندهای مهندسی مواد، ابزارهای برش و ابزارهای ضد حریق به کار گرفته می‌شوند.

۱-۴- مزیت‌های PVD

۱- تقریباً تمام مواد غیر آلی به‌علاوه معدودی از مواد آلی قابلیت لایه نشانی با PVD رادارند.

۲- ازنظر زیست‌محیطی این روش به برخی فرآیندهای مشابه ازجمله CVD ارجحیت داشته و آلودگی کمتری ایجاد می‌کند.

۳- سرعت رسوب‌دهی در PVD خیلی زیاد و غیرقابل‌کنترل نیست که این در نانو فناوری اهمیت خاصی دارد و امکان کنترل ضخامت و کیفیت پوشش را افزایش می‌دهد.

۱-۵- معایب PVD

۱- پوشش دهی سطوح زیرین اشکال هندسی و سطوحی که کمتر در دسترس هستند در این روش مشکل است.

۲- هزینه‌های پوشش دهی بالاست.

۳- برخی فرآیندهای PVD در دمای بالا به انجام می‌رسند که این نیاز به سیستم خنک‌کننده مناسب را الزامی می‌نماید تا پوشش دهی برخی ترکیبات با مشکل مواجه نگردد.

۱-۶- رسوب با پاشش یا سیستم پاشش SD

رسوب با پاشش یا پاشش مگنترون یک روش PVD برای تولید لایه‌نازک می‌باشد .پاشش یا کندن به معنی جدا کردن اتم‌ها از سطح می‌باشد که بهروش‌های گوناگونی انجام می‌شود .عموماً ماده به‌صورت اتم از سطح کنده می‌شود و تنها کسر کوچکی (در حد ۱%) از ذرات جداشده یونیزه هستند .اتم‌های کنده‌شده توزیع وسیعی از انرژی‌دارند که میانگین چند ده الکترون‌ولت (معادل با ۱۰۰۰۰۰ K دما) را دارا هستند .این اتم ه ای پرانرژی می‌توانند به‌طور بالستیک به‌طرف سطح زیر پایه حرکت کنند و به آن برخورد نمایند یا در فشار گاز بالا پس از برخورد در دمای زیاد به مولکول‌های گاز، انرژی خود را ازدست‌داده و به‌آرامی روی سطح زیر پایه چگالیده شوند .شدت و نوع برخورد در فرآیند پاشش با کنترل فشار گاز پس‌زمینه تعیین می‌گردد .گاز پاشش عموماً یک گاز خنثی مثل آرگون می‌باشد.

۱-۶-۱- فرآیندهای پاشش

در زیر انواع فرآیندهای رسوب‌دهی با پاشش ذکر گردیده و در ادامه توضیحات لازم در مورد هر یک ارائه می‌گردد.

۱- پاشش با فرکانس رادیویی(RF – Sputtering)

۲- پاشش با باریکه یونی(Ion Beam Sputtering)

۳- پاشش واکنش‌پذیر(Reactive Sputtering)

۴- رسوب‌دهی به کمک باریکه یونی (Ion Beam Assisted Deposition)

۵- پاشش با مصرف بالای هدف (High Target Utilization Sputtering)

۶- پاشش مگنت رون با برانگیزش توان بالا (High power impulse magnetron sputtering)

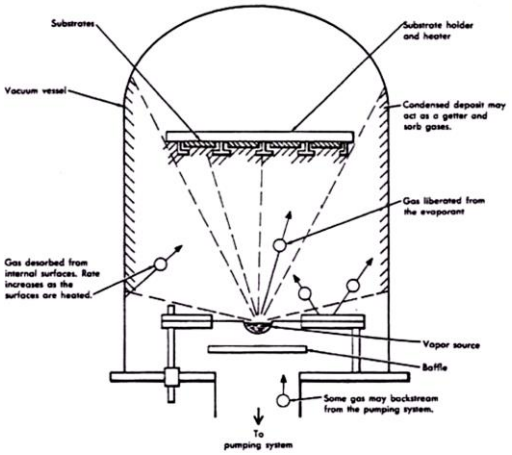
۱-۷- سیستم تبخیر حرارتی

(Thermal evaporation system)

سیستم تبخیر حرارتی یکی از روش‌های رسوب فیزیکی بخار PVDبه شمار می‌رود که در آن ماده هدف با حرارت تبخیر می‌شود و بخارات ایجادشده رسوب داده می‌شوند .فرآیند در خلأ بالا انجام می‌شود تا اتم‌ها یا مولکول‌ها حداقل سطح برخورد با سایر اتم‌ها را داشته باشند .سرعت انتقال جرم از سطح ماده هدف با افزایش دما که منجر به افزایش فشار بخار ماده می‌شود بالابرده می‌شود .در ساخت پوشش‌های رایج فشار بخار بالاتر از ۱/ ۵ Pa کاربرد دارد .در صنعت نیمه‌هادی از تبخیر حرارتی بیشتر برای رسوب‌دهی آلومینیوم و سایر فلزات استفاده می‌شود .شکل ۱- تصویر شماتیک سیستم تبخیر حرارتیتصویر شماتیک این فرآیند را نشان می‌دهد.

ابتدایی‌ترین روش حرارت دهی گرمایش مقاومتی است .در این روش یک سیم از فلزی با فشار بخار بسیار کم مثل تنگستن به دور محفظه حاوی نمونه پیچیده می‌شود و عبور جریان الکتریسیته از آن با ایجاد حرارت موجب ذوب و سپس تبخیر ماده می‌شود؛ اما این روش گرمایش معایب زیادی دارد و در سیستم‌های جدید تبخیر حرارتی کمتر مورداستفاده قرار می‌گیرد .

www.kahrobaonline.ir



شکل ۱- تصویر شماتیک سیستم تبخیر حرارتی

حالت دیگر گرمایش انرژی فرکانس رادیویی است .در این روش از یک هسته گرمایش القایی که بوته حاوی ماده هدف را در برگرفته است استفاده می‌شود .به این روش تبخیر حرارتی القایی اطلاق می‌گردد .شکل ۲- تصویر یک سیستم رسوب با تبخیر حرارتیتصویر یک سیستم تبخیر حرارتی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تصویر یک سیستم رسوب با تبخیر حرارتی

۱-۷-۱- مزایا سیستم تبخیر حرارتی

آسیب‌رسانی کمتر به فیلم و زیر پایه :علت این است که تبخیر حرارتی برخلاف سایر روش‌های مشابه شامل برخورد یون‌های پرانرژی با سطح نیست.

۱- خلوص بسیار بالا در پوشش به دلیل استفاده از خلأ بالا
۲- عدم رخداد گرمایش ناخواسته زیر پایه :علت در این مورد نیز عدم برخورد اجزای پرانرژی می‌باشد که برای مثال در پاشش رخ می‌دهد.
۳- هزینه‌های کمتر
۴- سرعت بالاتر رسوب‌دهی

۱-۷-۲- معایب سیستم تبخیر حرارتی

۱- کنترل کمتر بر روی ترکیب شیمیایی فیلم
۲- عدم امکان تمیزکاری درجای زیر پایه که درروش های پاشش ممکن است.
۳- بهبود دادن step-coverage با تبخیر حرارتی مشکل‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد.

۱-۸- سیستم‌های چندکاره رسوب فیزیکی بخار

اخیراً برخی شرکت‌ها اقدام به ساخت سیستم‌هایی یکپارچه و متمرکز باقابلیت رسوب‌دهی به چند روش PVD نموده‌اند .برای مثال شرکت Lesker یک سیستم بانام تجاری PVD75 ارائه کرده است که قابلیت رسوب‌دهی بهروش‌های پاششRF ، تبخیر حرارتی و EBPVD رادار است .شکل شکل ۳- تصویر سیستم متمرکز رسوب‌دهی فیزیکی بخار کل سیستم و محفظه نمونهتصویر این سیستم را نشان می‌دهد .شکل سمت چپ کل سیستم و شکل سمت راست محفظه نمونه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تصویر سیستم متمرکز رسوب‌دهی فیزیکی بخار کل سیستم و محفظه نمونه

www.kahrobaonline.ir

مراجع

[1] Annual Review of Materials Science Vol. 12: 65-80 (1982), S D Hersee and J P Duchemin "Low-Pressure Chemical Vapor Deposition".

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_vapor_deposition

[3] http://www.siliconfareast.com/cvd2.htm

[4] www.angstromsciences.com/.../index.html

[5] www.dpmc.unige.ch/gr_fischer/thinfilms.html

[6] www.siliconfareast.com

[7] http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1558#_Background

[8] https://www.memsnet.org/mems

[9] http://www.dentonvacuum.com

[10] www.mill-lane.com

[11] www.vergason.com

[12] http://www.veeco-europe.com

[13] http://www.nexxsysems.com

[14] http://www.plaspro.ch

[15] http://www.tegal.com