

بخش ۱: معرفی روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار و مکانیسم آن

نویسندگان: مبینا کلهریان، معصومه قاسمی نژاد

مقدمه:

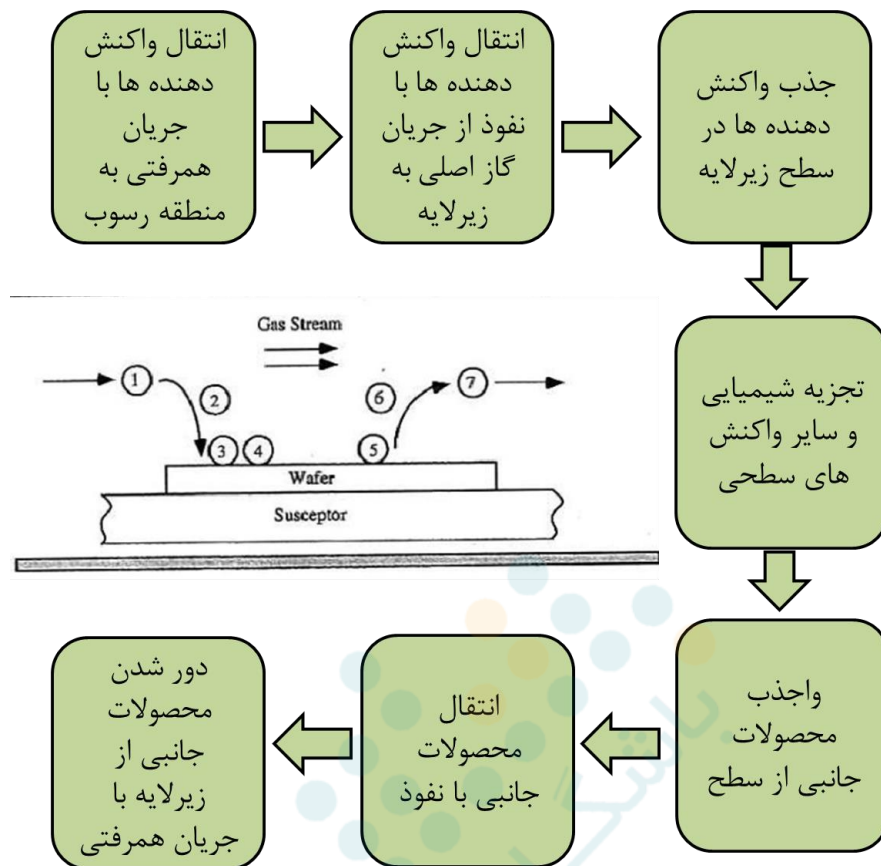
از میان روش‌های لایه‌نشانی، روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار (Chemical Vapor Deposition: CVD) به علت هزینه پایین دستگاه، بازدهی بالای محصول و سهولت در توزین بیشترین کاربرد را دارد. رسوب‌دهی شیمیایی بخار (CVD) به فرآیندی گفته می‌شود که شامل تجزیه و یا واکنش‌های شیمیایی از واکنش‌گرهای گازی در یک محیط فعال شده مانند (گرما، نور و پلاسما) می‌شود و برای تولید و تشکیل یک محصول جامد پایدار استفاده می‌گردد. با روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار می‌توان موادی با خلوص بسیار بالا ایجاد کند که ساختار آن تا مقیاس اتمی یا نانومتری قابل کنترل است. علاوه بر این، با این فرآیند می‌توان موادی تک لایه، چندلایه، کامپوزیت، نانوساختار و پوشش‌هایی با ساختار دانه‌بندی معین با کنترل ابعادی بسیار عالی و ساختار یکنواخت در فشارهای پایین تولید کرد. در این بخش با این روش و مکانیسم کلی آن آشنا می‌شوید.

۱- رسوب‌دهی شیمیایی بخار چیست؟

به طور کلی، فرآیند رسوب‌دهی شیمیایی بخار شامل ورود گازهای واکنش دهنده به داخل راکتور، نفوذ گازها از طریق یک لایه مرزی، تماس گازها با سطح زیرپایه، نشست گاز روی زیرلایه و نفوذ محصولات جانبی واکنش از طریق لایه‌نشانی است.

۲- مکانیسم رسوب‌دهی شیمیایی بخار چگونه است؟

به طور کلی سه رژیم واکنش سطحی (سینتیکی)، نفوذ (انتقال جرم) و واجذب در فرآیند رسوب‌دهی شیمیایی درگیر است. شکل زیر نمایی از مراحل اصلی دخیل در این فرآیند را نشان می‌دهد.



شکل ۱: مراحل رسوب دهی شیمیایی بخار

مرحله دوم و پنجم به دلیل تاثیرگذار بودن سرعت نفوذ واکنش دهنده ها بر سرعت نفوذ محصولات جانبی، از طریق روابط استوکیومتری واکنش به یکدیگر وابسته هستند. مراحل سوم و چهارم بسیار پیچیده و ممکن است شامل واکنش های سطحی، جذب و واجذب همزمان (جذب شیمیایی و واجذب فیزیکی) و فرآیندهای جوانه زنی باشد.

آهسته ترین مرحله، سرعت کلی واکنش را تعیین می کند. اگر دمای زیرلایه بسیار بالاتر از دمای تجزیه واکنش دهنده ها باشد، سرعت تجزیه مواد اولیه روی زیرلایه افزایش می یابد و سرعت رشد توسط سرعت انتقال جرم واکنش دهنده ها روی سطح کنترل می شود. در دماهای پایین، سرعت واکنش با سرعت جوانه زنی ناهمگن وابسته به دما و نیز تاثیرات واجذبی و سینتیکی، محدود می شود. بنابراین سرعت واکنش اولیه از طریق سینتیک کنترل می گردد. در این حالت اگر جریان پیش مواد اولیه مناسب باشد، سرعت رشد مستقل از آن بوده و فقط رابطه نمایی با دما خواهد داشت. بنابراین به صورت کلی در دمای پایین، دما کنترل کننده سرعت واکنش و در دمای بالا، نفوذ کنترل کننده خواهد بود.

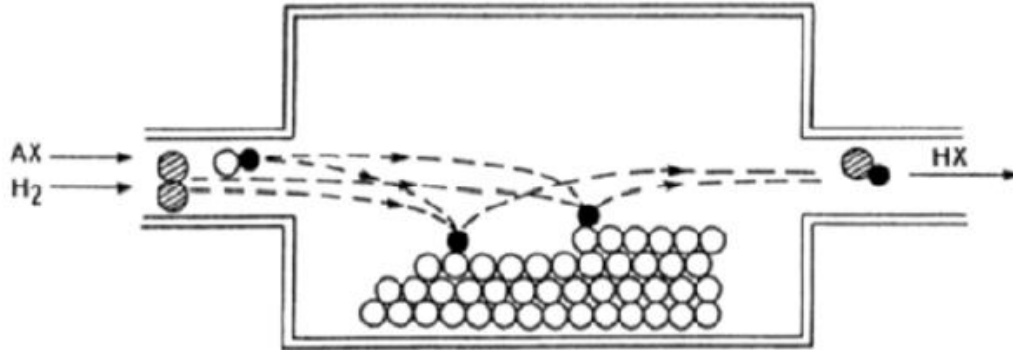
روش‌های رسوب‌دهی شیمیایی بخار در دماهای بالا و فشار پایین انجام می‌شود. بنابراین، در این روش سرعت واکنش به دما وابسته نیست؛ اما وابستگی شدیدی به سرعت جریان مواد اولیه و یا لایه مرزی دارد. در دماهای بسیار بالا که درصد فوق اشباع زیاد است و گازهای واکنش دهنده بسیار گرم هستند، واکنش جوانه‌زنی به صورت همگن انجام می‌شود و در نتیجه ذرات جامد رسوب می‌کنند. با رسوب‌دهی، مواد اولیه کاهش یافته و متعاقباً سرعت رشد بر روی سطح زیرلایه کاهش می‌یابد. به همین دلیل جریان مواد اولیه کنترل‌کننده سرعت واکنش است.

معمولاً سرعت واکنش شیمیایی با افزایش فشار سیستم، افزایش می‌یابد. جوانه‌زنی در فاز گاز به صورت همگن است، در حالیکه جوانه‌زنی روی زیرلایه به صورت ناهمگن می‌باشد. به نظر می‌رسد که فرآیند جوانه‌زنی شامل تشکیل خوشه‌هایی با اندازه بحرانی (جوانه‌ها) است که در مرحله بعد بلورهای پایدار تشکیل می‌شود. سه مدل اصلی برای فرآیند رشد در نظر گرفته می‌شود که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲: سه مدل جوانه‌زنی در رسوب‌دهی از فاز گاز

هندسه، شکل و ترکیب زیرلایه، نوع فرآیند رسوب‌دهی، ماهیت ماده هدف و فاکتورهای اقتصادی روی طراحی سیستم CVD موثر است. پیش ماده مایع یا جامد با حرارت‌دهی به حالت گاز درمی‌آید، سپس گاز تولیدی به درون راکتور رانده می‌شود (شکل ۳). هنگامی که ضخامت ویژه‌ای از فیلم یا آلیاژ و یا ترکیب چندتایی با نسبت مولی خاص مورد نظر باشد، باید سرعت تبخیر کنترل شود. در سیستم‌های پیشرفته CVD، معمولاً از کنترل‌کننده‌های دیجیتال جریان و یا کنترل‌کننده‌های فشار-جریان استفاده می‌شود. پیش‌ماده‌های مایع راحت‌تر از جامد استفاده می‌شود. زیرا انتقال گرما و سطح در دسترس ماده جامد کم‌تر از مایع است.



شکل ۳: نمایی ساده از راکتور حرارتی CVD

منابع:

1. Ch. .Bhattacharjee and A. Nath, Review article Chemical vapour deposition (CVD) technique and the synthesis of carbon nano materials (CVMs).
2. M. Kumar and Y. Ando, Review article Chemical vapour deposition of carbon nano tubes: a review in growth mechanism and mass production.
3. M. Kumar and Y. Ando, Chemical Vapor Deposition of Carbon Nanotubes: A Review on Growth Mechanism and Mass Production
- 4- C. Jones, Chemical Vapour Deposition: Precursors, Processes and Applications