

مروری بر کاربردها و فناوری‌های به‌روز دستگاه رسوب‌دهی بخار شیمیایی

سال انتشار: ۱۳۹۸

ویرایش نخست



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

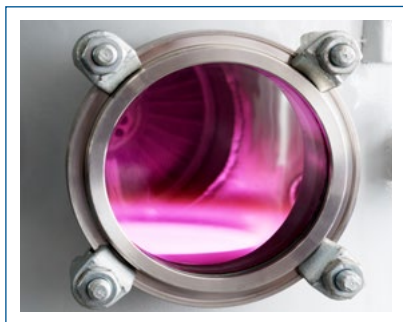
طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهریژن	تلفن:	۰۲۱۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزایلو	نمابر:	۰۲۱۶۳۱۰۶۳۱۰
پست الکترونیک:	ind@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.indnano.ir
	report@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵۳۴۴

فهرست مطالب

۳	دستگاه رسوب‌دهی بخار شیمیایی (CVD)
۴	مزایا و معایب عمومی روش CVD
۵	انواع روش‌های رسوب‌دهی شیمیایی بخار
۷	مزایا و معایب و کاربرد روش‌های مختلف CVD
۷	شرکت‌های تولیدکننده خارجی
۱۹	بازار داخلی دستگاه رسوب‌دهی بخار شیمیایی
۲۳	خلاصه مدیریتی

دستگاه رسوب دهی بخار شیمیایی^۱ (CVD)

■ معرفی



یکی از روش های لایه نشانی، روش رسوب دهی بخار شیمیایی (CVD) است. این روش بر مبنای تجزیه و یا واکنش های شیمیایی از واکنشگرهای گازی در یک محیط فعال شده (گرما، نور و پلاسما) برای ایجاد یک پوشش جامد پایدار می باشد. با این روش می توان موادی در مقیاس نانومتری و با خلوص بالا به صورت تک لایه، چند لایه، کامپوزیت نانو ساختار و پوشش هایی با کنترل ابعادی بسیار عالی و ساختار یکنواخت در فشارهای پایین تولید کرد.

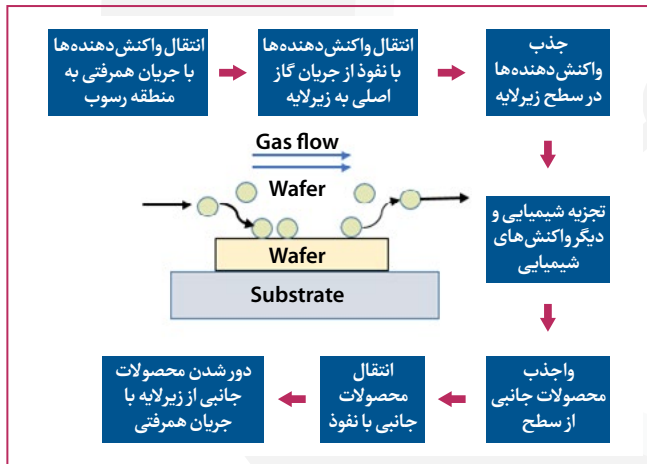
■ تاریخچه

نخستین استفاده از روش های پوشش دهی در سال ۱۸۸۰ به منظور تولید لامپ های تزئینی برای تقویت استحکام رشته ها با پوشش کربنی یا فلزی بود. در همان دهه تعدادی از اختراعات مربوط به پوشش دهی ثبت شد. در ۵۰ سال بعد پوشش دهی با رشد کمی و در راستای استفاده بیشتر در جهت تولید فلزات خلوص بالا مقاوم مانند تانتالیوم و تیتانیوم و زیرکونیم محدود شد. در پایان جنگ جهانی دوم به محض اینکه محققان متوجه محسنات روش پوشش دهی، برای تولید پوشش ها و شکل های آزاد شدند، به سرعت توسعه یافت. تاریخ های مهم دیگری در توسعه پوشش دهی در جهان وجود دارد که به شرح زیر است:

سال ۱۹۶۰ برای نخستین بار روش رسوب دهی بخار شیمیایی (CVD) به شکل امروزی آن ها معرفی شد و برای ساخت نیمه هادی ها، پوشش های کاربردی (TCI) بروی ابزار تراشکاری و پوشش های تنگستنی مورد استفاده قرار گرفت. تا اینکه در سال ۱۹۶۳ رسوب دهی بخار شیمیایی با کمک پلاسما در الکترودها به کار گرفته شد. سال ۱۹۶۸ برای نخستین بار در صنعت از کاربرد سمانته شده پوشش داده شده با روش CVD استفاده شد. در سال ۱۹۸۰ پوشش های الماسی با استفاده از CVD معرفی شدند. ۱۹۹۰ استفاده از CVD در رسوب فلزات آلی بروی سرامیک و فلزات (MOCVD)^۲ به سرعت گسترش یافت. در همان سال روش رسوب دهی بخار شیمیایی در تولید ابزارهای اپتیکی و فوتوالکتریک مورد توجه قرار گرفت. امروزه با گذشت بیش از یک قرن، برای گسترش و بهبود روش های رسوب دهی شیمیایی و به کارگیری آن در صنعت تلاش هایی مستمر صورت گرفته است [۱].

■ مکانیسم رسوب دهی شیمیایی بخار

به طور کلی این فرآیند شامل ورود گازهای واکنش دهنده به داخل راکتور، نفوذ گازها از محفظه، تماس گازها با سطح زیر لایه، نشست گاز بروی زیر لایه و نفوذ محصولات جانبی واکنش از طریق لایه نشانی است که تمامی این مراحل در دمای بالا و فشار کم به خوبی انجام می گیرد. بنابراین این فرآیند باعث ایجاد یک لایه نازک توسط واکنش شیمیایی و رسوب دهی لایه جامد بروی بستر می شود [۲].



شکل ۱. مکانیسم رسوب‌دهی بخار شیمیایی

مزایا و معایب عمومی روش CVD

لایه‌نشانی بخار شیمیایی، یکی از مهم‌ترین روش‌های پوشش‌دهی است که امروزه با توجه به مزایا و معایبی که دارد، کاربردهای آن در حوزه صنعتی بسیار گسترده شده است. در ادامه به طور مختصر مزایا و معایب این روش شرح داده می‌شود:

■ مزایا:

- سرعت لایه‌نشانی نسبتاً بالا است (۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر بر ثانیه)
- چسبندگی آن نسبت به روش فیزیکی بهتر است.
- فرآیند در فشار معمول می‌توان کنترل کرد.
- این روش برای لایه‌نشانی چندلایه‌ای، بسیار مناسب است.
- با توجه به ماهیت واکنش‌ها، لایه‌نشانی بر روی زیرلایه‌های حفره دار (فوم نیکل) هم به خوبی قابل انجام است و ضخامت لایه یکنواخت و مستقل از شکل بستر است.
- مورفولوژی سطح و جهت‌دهی رسوب و ساختار بلوری را می‌تواند کنترل کند.

■ معایب:

- امکان بروز واکنش‌های ناخواسته در آن روش وجود دارد که گاهی ممکن است اشکالات جدی در لایه‌نشانی و یا داخل راکتور به وجود آید.
- امکان وجود خطر انفجار در راکتور وجود دارد.
- کنترل پارامترهای ترمودینامیکی (فشار، دما، تعداد ذرات ورودی) در این روش بسیار سخت است.

- کنترل واکنش ها و در نتیجه کنترل یکنواختی در این روش بسیار مشکل است.
- با توجه به اینکه بیشتر واکنش های به درجه حرارت بالا نیاز دارد که این موضوع موجب تنش حرارتی بر روی لایه و زیرلایه می شود.
- اکثر مواد واکنش دهنده گران هستند.

■ کاربرد:

- رسوب دهی شیمیایی بخار در تولید نانوساختارهای نیمه هادی استفاده می شود.
- در رسوب فیلم های گوناگون نظیر تیتانیوم نیتريد، ژرمانیوم، سیلیکون نیتريد و...
- سنتز گرافن تک لایه، گرافن فوم
- در فرآیند پوشش دهی قطعات مختلف در جهت بهبود خواص نوری، الکتریکی، گرمایی، مکانیکی
- ایجاد مقاومت در مقابل خوردگی در فیلم های پوشش داده شده است [۳، ۴].

انواع روش های رسوب دهی شیمیایی بخار

به منظور تشکیل لایه نازک از پیش ماده های مختلف از روش های متفاوتی مانند گرما، پلاسما، لیزر و فوتون و... استفاده می شود که به اختصار در زیر توضیح داده می شود.

■ رسوب دهی شیمیایی بخار گرمایی

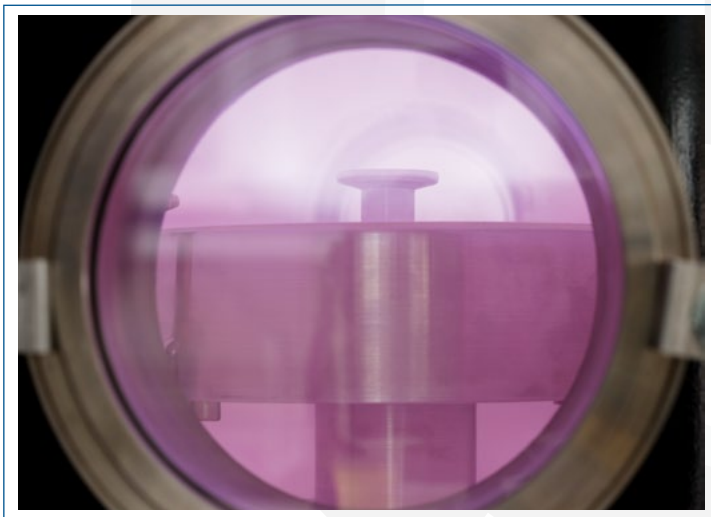
در این فرآیند از انرژی گرمایی برای کمک به آغاز واکنش های گازی استفاده می شود، بدین گونه که گازهای واکنش دهنده به راکتور انتقال یافته و زیرلایه برای افزایش بازدهی لایه نشانی گرم می شود. همچنین این فرآیند سبب حذف آلودگی ها و ناخالصی های موجود بر روی سطح نمونه و داخل لوله مرکزی می شود.

■ رسوب دهی شیمیایی بخار بر اساس فشار

□ رسوب دهی شیمیایی بخار در فشار اتمسفری (APCVD^۱): این نوع از رسوب دهی می تواند در دمای بالا یا پایین مورد استفاده قرار گیرد. پوشش فلزی سخت مانند کاربید تیتانیوم و نیتريد تیتانیوم و گرافن فوم معمولاً در دمای بالا تولید می شود. تشکیل بسیاری از لایه های نازک مانند SiO₂ نیز در دمای پایین صورت می گیرد. این روش به علت نرخ پایین رسوب دهی دچار چالش هایی همانند عدم یکنواختی ضخامت، پوشش دهی نامناسب سطوح غیر مسطح، آلودگی و وجود نواقص حفره ای می شود.

□ رسوب دهی شیمیایی بخار در فشار پایین (LPCVD^۲): فرآیند در محدوده فشار بین ۱۰^{-۱} میلی تور، انجام می گیرد. در فشار پایین، غلظت بیشتری از گاز متراکم می شود و مقادیر بیشتری از گاز به زیرلایه نفوذ می کند و به دلیل کاهش واکنش های ناخواسته در فشار پایین، نواقص کمتری به وجود می آید. همچنین میزان پوشش دهی یکنواخت تر و ضخامت لایه در سطوح غیر مسطح بیشتر خواهد بود. این فرآیند به دمای بالا وابستگی دارد.

□ رسوب دهی شیمیایی بخار فشار خیلی کم یا خلاخلی بالا (UHVCVD^۳): فشار راکتور در این روش در نزدیکی ۱۰^{-۷} تور است. در تهیه انواع ساختارهای نانوبلوری و ویفرهای چند لایه و فیلم های اپتیکسیال با کیفیت بالا نظیر ژرمانیوم، سیلیکون استفاده می شود. به طور عمده از این فرآیند در صنایع نیمه هادی برای رسوب فیلم های نازک



نظیر GaAs روی سیلیکون کاربرد دارد. همچنین در دمای پایین برای تهیه ترانزیستورهای فیلم نازک مورد استفاده در دیودهای PIN به کار گرفته می‌شود.

❑ **رسوب‌دهی شیمیایی بخار آلی فلزی (MOCVD):** در این فرآیند از مواد آلی فلزی نظیر تانتالیوم اتوکسید ($\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$) و تترادی متیل آمینوتیتانیوم (TDMAT) برای تولید روکش‌هایی از جنس اکسید تیتانیوم (TiO_2) و برای تهیه نیتريد تیتانیوم (TiN) استفاده می‌شود. واکنش دهنده‌ها در دمای نسبتاً پایین فرار هستند. در این روش می‌توان لایه‌های نازک اپیتکسیال با کیفیت بالایی در مقیاس نانو ایجاد کرد.

❑ **رسوب‌دهی شیمیایی بخار پلاسمایی (PECVD):** این روش به با استفاده از پلاسمای در دما و فشار پایین کیفیت لایه نازک را بهبود می‌بخشد و به یکنواختی پوشش کمک می‌کند. استفاده از دمای پایین در ساخت نیمه هادی‌ها ضروری است. به عنوان مثال کاربید تیتانیوم که به صورت نرمال زیر ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل نمی‌شود پلاسمای امکان تولید در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد را فراهم می‌کند. این روش در فشار ۵ تا ۵۰ میلی‌تور باعث می‌شود یون‌ها با انرژی کمتری به زیر لایه برخورد کنند بنابراین نواقص روی زیر لایه کاهش می‌یابد.

❑ **رسوب‌دهی شیمیایی بخار لایه اتمی (ALCVD):** در این روش دو ماده اولیه به طور متناوب داخل محفظه واکنش وارد می‌شوند، بدین ترتیب که ابتدا یکی از مواد در غیاب ماده دوم روی سطحی که رسوب روی آن ایجاد می‌شود، جذب می‌شود. سپس ماده دوم به محیط اضافه می‌شود و واکنش انجام می‌پذیرد. ضخامت فیلم با مقدار ماده ورودی به محفظه واکنش کنترل می‌شود و امکان کنترل دقیق ضخامت فیلم و یک شکل بودن آن وجود دارد.

❑ **رسوب‌دهی شیمیایی بخار فوتونی (PICVD):** این روش به کمک تحریکات فوتونی (نور UV)، بر روی واکنش‌های شیمیایی آغاز می‌شود [۵، ۶].

مزایا و معایب و کاربرد روش های مختلف CVD

جدول (۱)، به صورت خلاصه مزایا، معایب و کاربرد روش های مختلف رسوب دهی بخار شیمیایی را شرح می دهد:

جدول ۱. مزایا، معایب و کاربرد روش های مختلف رسوب دهی بخار شیمیایی

UHV CVD	PECVD	MOCVD	LPCVD	APCVD	
کیفیت بالای فیلم، دمای پایین	دمای کم برای انجام لایه نشانی، چسبندگی بالا	قابل استفاده برای فلزات، نیمه رساناها و دی الکتریک ها	یکنواختی عالی، خلوص بالا	ساده، نرخ رسوب گذاری بالا، ارزان	مزایا
دشواری کنترل خلا و فشار پایین	پلاسمای باعث تخریب لایه و نمونه می شود	بسیار سمی، گران قیمت	نرخ رسوب گذاری پایین	یکنواختی کمتر، خواص کمتر	معایب
در صنایع نیمه هادی، تهیه ترانزیستورهای فیلم نازک، گرافن	لایه نشانی دی الکتریک	ساخت LED، دیود لیزرها، نیمه رساناها	لایه نشانی دی الکتریک ها، پلی سیلیکن، گرافن فوم	لایه های اکسیدی ضخیم	کاربرد

رسوب دهی بخار شیمیایی با فوتون همانند رسوب دهی پلاسمایی است با این تفاوت که در روش پلاسمایی از تشعشعات UV قوی تری استفاده شده است.

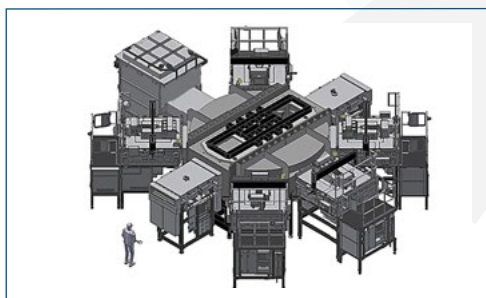
شرکت های تولید کننده خارجی

شرکت Applied Materials

این شرکت سیستم AKT 55KS PECVD با دقت بالایی به رسوب دهی بخار با پلاسمای بر روی زیر لایه هایی در ابعاد 250×220 mm فرآیند رسوب دهی را انجام می دهد. این وسیله می تواند بین ترانزیستورهای اکسید فلزی (MO) با یک سیلیکون اکسید (SiO_2) از قبل تهیه شده پیوند برقرار کند. این فرآیند موجب به حداقل رساندن ناخالصی های هیدروژنی برای بهبود پایداری ترانزیستور در دراز مدت و بهینه سازی عملکرد صفحه نمایش می شود. سیستم AKT 55KS PECVD می تواند با کنترل یکنواختی لایه نشانی ذرات، نمایشگرهای MO با کیفیت بالا را تولید انبوه کند.



▲ شکل ۲. سیستم AKT55KS PECVD [۷]



▲ شکل ۳. سیستم Enflexor™ Gen 6H PECVD [۷]

□ سیستم Enflexor™ Gen 6H PECVD با استفاده از پلاسما در CVD و نگهداری فیلم‌های نازک، زمینه فناوری OLED^{۱۱} انعطاف پذیر را فراهم می‌کند. این سیستم طیف وسیعی از فیلم‌های حائل و فناوری پوشش‌دهی دریک فرآیند سیستم را فراهم می‌کند. همچنین به راحتی توانایی تولید انبوه سایر ابزارهای OLED را دارد.

■ شرکت CVD Equipment Corporation^{۱۱}

□ Atmospheric Pressure CVD Systems (APCVD)



▲ شکل ۴. سیستم APCVD CVDgCoat™ [۸]

این شرکت اغلب به صورت آن لاین یا آف لاین سیستم‌های APCVD™ CVDgCoat که برای قرار دادن یک لایه مواد با ضخامتی به طور میانگین چندین میکرومتر بر روی ویفرها و یا انواع دیگر زیر لایه‌ها برای رشد فیلم‌های اپتیکی سیال‌های سیلسیم، نیمه‌هادی‌های ترکیب شده، SiO_2 ، پوشش‌های ضدانعکاس (AR)^{۱۲}، پوشش‌های اکسیدی رسانای شفاف مانند (TCO) و به عنوان فرآیندی برای بهبود عملکرد و عمر ابزار و تیغه‌های توربینی استفاده می‌شود.

Low Pressure CVD Systems (LPCVD) □

این سیستم می تواند به طور یکنواخت بسیاری از مواد با فیلم نازک از جمله سیلیکون کاربید، نیتريد، اکسیدها، پلی واپی سیلیکون، اکسیدهای رسانایی شفاف، گرافن، فیلم های اپتیکی Si/SiGe، فیلم های فلزی و سرامیکی و... این سیستم برای سنتز نانو مواد از جمله نانولوله های کربنی، گرافن، نانوسیم های نیمه هادی و کریستال های دو بعدی مانند نیتريد بور و دی سولفید مولیبدن استفاده می شود. پوشش های LPCVD دارای یکنواختی بالا، خلوص بالا و پوشش های چند مرحله ای خوبی است. بسته به نیاز فرآیند، سیستم LPCVD این شرکت توانایی ایجاد خلا بر اساس نوع ماده سنتز شونده و فشاری قابل تنظیم دارد. سیستم خلا به یک سیستم کنترل مرکزی و ایمنی متصل می شود.



شکل ۵. LPCVD شرکت Equipment Corporation [۸]

Metal Organic CVD Systems (MOCVD) □

سیستم MOCVD این شرکت توانایی قرار دادن لایه های ترکیب مورد نظر را بر روی بستری مناسب با ترکیب را دارد و به وسیله ی نرم افزار میزان جریان (گاز) عبوری را کنترل می کند. در نتیجه تعداد لایه ها با دقت بیشتری کنترل می شود. همچنین قابلیت استفاده از ویفرهایی که توسط خود کاربر طراحی شده است را دارد. دما و مقدار پیش ماده ها و گازهای ورودی همراه با چرخش بستر در طول فرآیند رسوب تحت کنترل است و رسوب گذاری یکنواختی را فراهم می کند. در سیستم می توان مواد شیمیایی سمی را قرار داد. وجود قفل در محفظه مانع از ورود آلودگی به محفظه می شود. سیستم کنترلی CVDWinPrC™ به صورت خودکار داده ها را وارد می کند و به صورت گرافیکی مقادیر وابسته به زمان را نمایش می دهد. همچنین کاربر می تواند مقادیر پیش فرض را تغییر دهد و دستور عمل جدیدی را وارد کند و نمایش زمان واقعی و داده های ذخیره را می توان مشاهده کرد.



شکل ۶. سیستم MOCVD [۸]



▲ شکل ۸. EasyTube® PECVD

EasyTube® PECVD □

در این شرکت سیستم PECVD برای کاربردهای صنعتی طراحی و ساخته شده است. این سیستم از طریق نام تجاری FirstNano® و برند R&D تولید می‌شود.

EasyTube® 2000 یک سیستم کوچک برای اندازه و یفرتا ۴ اینچ است. در حالی که EasyTube® 3000 می‌تواند یک و یفرتا ۶ اینچ را پردازش کند.

Ultra-High Vacuum Multi-Chamber Cluster Tool Systems (UHV CVD) □

سیستم رسوب‌دهی بخار شیمیایی خلا فوق بالا (UHV CVD) شرکت CVD Equipment در صورت اتوماتیک و یفرهایی با قطر ۱۰۰-۱۵۰ mm در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد کنترل می‌کند. سیستم شامل یک قفل بار و لوله‌ی رسوب است. محفظه‌ی بار قفل دارای رباتی است که و یفر ۲۰۰ میلی‌متری قفل و لوله حرکت می‌دهد؛ این باعث می‌شود میزان انتقال جو محیطی به لوله به حداقل برسد. سیستم لوله خلا با فشار کمتر از ۱۰ mTorr طراحی شده است. قادر به تمیز کردن لوله در فشار کمتر از 10^{-7} تور و تمیز کردن قفل بار در فشار کمتر از 10^{-7} در دمای اتاق بدون جریان گاز است.

سیستم گرمایشی این شرکت دارای گرمایشی یکنواخت و دقیق در هر دو جهت شعاعی و محوری است. سیستم گرمادهای سه‌گانه به حداکثر دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک سطح مسطح به صورت طولانی مدت و سریع می‌رسد. (با خطای ± 5 درجه سانتی‌گراد).

سیستم گاز که در مجاورت ورودی گاز محفظه برای اتصال بین اجزای و محوطه محفظه فرآیند قرار دارد. تا ورود گاز سریع انجام گیرد. یک محفظه انتقال خلا بالا برای و یفر در محفظه فرآیند تحت فشار جزئی H_2 فراهم شده است. از این سیستم برای رسوب کم از فیلم‌های سیلیکون و ژرمانیوم سیلیکون که در آن تغییرات ناگهانی ترکیب مورد نیاز است استفاده می‌شود.



▲ شکل ۸. UHV CVD شرکت CVD Equipment



شکل ۹. TurboDisc K475i As/P MOCVD System
[۹] EasyTube® PECVD

شرکت Veeco Instruments Inc TurboDisc K475i As/P MOCVD System

سیستم جدید شرکت Veeco با نام K475i دارای طراحی جدید راکتور با تکنولوژی Uniform FlowFlange™ است، بهترین راکتور صنعتی برای تولید LEDهای قرمز، نارنجی، زرد و سلولهای خورشیدی چند منظوره (III-V)، دیودهای لیزری و ترانزیستورها است، همچنین توانایی تولید ویفرهایی لایه نازک با یکنواختی بسیار بالا، فرآیند تکرار پذیری درون ویفر و بالاترین بهره‌وری صنعتی به علت اتوماسیون کامل دارد. در ضمن پلت فرم تولیدی ثبت شده، کمترین هزینه مالکیت را فراهم می‌کند.



شکل ۱۰. Veeco's Propel™ Power GaN MOCVD
[۹] Power GaN MOCVD

سیستم Veeco's Propel™ Power GaN MOCVD

سیستم Veeco's Propel™ Power GaN MOCVD به طور خاص برای صنعت الکترونیک قدرت طراحی شده است. این دارای جایگاه راکتور واحدی برای ویفر است که قادر به پردازش ویفرهایی با قطر ۶ و ۸ اینچی است. راکتور تک ویفر بر اساس طراحی TurboDisc® با فناوری پیشرفته از جمله فناوری‌های جدید SymmHeat™ و IsoFlange™ است. جریان همگن با مشخصات دمایی یکنواخت را در سرتاسر ویفر ایجاد می‌کند. از ویژگی‌های این دستگاه می‌توان یکنواختی عالی فیلم و نقص ساختاری کم، تولید در حجم زیاد، طراحی مطابق با اندازه و مقیاس ویفر برای سهولت در نگه داری و پیکربندی و بهره برداری می‌توان نام برد.



شکل ۱۱. سیستم CVD(I) شرکت Furnace-tech
[۱۱] tech

شرکت Furnace-tech CVD

در شرکت Furnace-tech سیستم CVD با ویفرهای نیمه هادی یا سلولهای خورشیدی طراحی شده است. سیستم کوره توسط نور هالوژن در اطراف لوله به حداکثر دمای می‌رسد و سیستم را گرم می‌کند. نرخ گرمایش حداکثر ۳۰۰ °C/min (با دقت ±۱ درجه سانتی‌گراد) است. از جمله ویژگی‌های آن می‌توان دمای یکنواخت،

کنترل خودکار PLD از طریق کنترل قدرت SCR و محافظ در دماهای بالا، زنگ خطر و اتاق کشویی برای خنک کردن سریع و یفر نام برد. در سیستم لوازم جانبی همانند لوله کوارتزی برای دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، فلنج خلا ۱/۴ قطعه، کلید آلن ۴ قطعه، قرار دارد. از این کمپانی می‌توان سیستم سنجش خلاد دیجیتال و پمپ خلا را به صورت اختیاری سفارش دهید و در سیستم تعبیه کنید.

CVD Kejia □



شکل ۱۲. CVD Kejia. ۱۰ [۱۰]

سری جدید کوره‌های لوله ای با نام Kejia برای عملیات حرارتی انواع مواد تحت شرایط هوایی و خلا و یا گازهای دیگر طراحی شده است. این سیستم با استفاده از آلومینا با خواص بالا یا لوله کوارتز به عنوان لوله کوره می‌تواند سریع خنک شود. ساختار افقی باعث می‌شود گاز به آرامی و به طور یکنواخت بر روی نمونه انتشار یابد. این سیستم برای مواد پودری و ویفرهای نیمه هادی تحت شرایط خلا و یا سایر گازها استفاده می‌شود. دمای کوره توسط یک کنترل هوشمند به حداکثر

دمایی ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و حداکثر دمای عملیاتی ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (با دقت ± 1 درجه سانتی‌گراد) کنترل می‌شود. دارای پوشش دولایه از فولاد و سیستم دوفن خنک کننده (نگهداری سیستم در درجه حرارت کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد) است. از یک عایق فیبرویک عایق با خلوص بالا جهت صرفه جویی در انرژی استفاده شده است. توان این سیستم در ۳۰ یا ۵۰ وات قابل کنترل است. کنترل اتوماتیک PID از طریق زاویه فاز محدود کننده مقاومت را خاموش می‌کند.

CVD System □



شکل ۱۳. سیستم CVD (II) شرکت furnace-tech [۱۰]

این سیستم یک ابزار ایده‌آل و مقرون به صرفه برای پوشاندن فیلم‌های نازک یا تولید نانوسیم از حالت گاز به حالت جامد تحت دمای ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر درجه حرارت کوره ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای عملیاتی ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و طول منطقه داغ ۳۰ یا ۴۰ میلی‌متر است. سیستم پیکربندی افقی، ساختاری کم حجم با مصرف کم، قطر بیرونی لوله تا ۱۰۰ میلی‌متر و دو فن خنک کننده در اطراف همراه با کنترل PID دارد. همچنین می‌توان از این کمپانی سیستم پمپ خلا و سنجش خلاد دیجیتال به صورت اختیاری سفارش داد.

PECVD System □

این کوره یک کوره ایده‌آل و مقرون به صرفه برای تهیه فیلم‌های نازک و یا رشد نانوسیم از حالت گازی به جامد



شکل ۱۴. شکل سیستم PECVD
شرکت furnace-tech [۱۰]

است. سیستم دارای جریان گاز با مخزن مخلوط گاز، پمپ مکانیکی با کیفیت بالا، لوله با قطر بیرونی تا ۱۰۰ میلی متر، پیکربندی افقی، ساختار کم حجم و کم مصرف، دوفن خنک کننده در اطراف و کنترل اتوماتیک PID است. حداکثر درجه حرارت ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد، و حداکثر دمای عملیاتی ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد، طول منطقه داغ، ۴۰۰، ۳۰۰ یا ۴۴۰ میلی متر است، در ضمن می توان از این کمپانی سیستم پمپ خلا و سنجش خلاد دیجیتال به صورت اختیاری سفارش داد.



شکل ۱۵. CVD مدل CC-200/400 [۱۱]

شرکت ULVAC^{۱۵} CVD مدل CC-200/400

CVD مدل CC-200/400 یک سیستم جمع و جور برای استفاده آسان در زمینه‌ی R&D و تولید طراحی شده است. از جمله ویژگی‌های مهم این سیستم عبارتند از: پردازش پلاسما با چگالی بالا ۲۷،۱۲ مگا هرتز، تمیز کردن محفظه دستگاه توسط پلاسمای $CF_4 + O_2$ ، قابلیت استفاده از بسترهایی با اندازه مختلف (ابعاد میکرومتری و نانومتری) را می توان نام برد. در تهیه باتری‌های خورشیدی و سیستم‌های ایتیکی و الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۶. CME-200E/400 [۱۱]

شرکت ULVAC^{۱۵} PECVD مدل CME-200E/400

PECVD مدل CME-200E/400 مناسب‌ترین مدل در سری مدل‌های PECVD تولیدی برای رسوب‌گذاری فیلم‌های سیلیسیم است. حداکثر ابعاد زیرلایه در این سیستم با دو مدل CME-200E و CME-400 به ترتیب ۲۰۰×۲۰۰ میلی متر و ۳۰۰×۳۰۰ میلی متر می‌باشد. از جمله ویژگی‌های دستگاه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
پردازش پلاسما با چگالی بالا همراه با منبع تغذیه با فرکانس بالای ۲۷،۱۲ مگا هرتز، تمیز کردن محفظه با پلاسما $NF_3 + Ar$ ، پشتیبانی از رسوب‌گذاری در دمای پایین است.



شکل ۱۷. دستگاه ETP CVD مدل ULGLAZE [۱۱]

دستگاه ETP CVD

دستگاه ETP CVD یک سیستم پلاسمای گرمایی با مدل UL-GLAZE است که برای پوشش دادن خراش‌ها و ایجاد مقاومت در برابر سایش و خوردگی روی پلی کربنات با استفاده از مونومرو واکنش‌های اکسیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم فرآیند لایه‌نشانی لایه نازک با دمای کم و با سرعت پوشش‌دهی ۳۰ برابر پوشش‌دهی RF-PECVD صورت می‌گیرد. از این دستگاه می‌توان در صنعت خودروسازی و برای شیشه‌های خودرو که حاوی پلی کربنات (به استثنای شیشه جلوی اتومبیل) استفاده کرد.

شرکت AIXTRON^{۱۶}

PECVD

شرکت AIXTRON، سیستم PECVD جهت تولید نانولوله‌های کربنی و گرافن با مشخصات فنی زیر تولید می‌کند: این سیستم دارای دو مدل زیر است:

■ **مدل BM Pro:** این مدل دارای ۱۰ کانال گازی برای انتخاب منبع گاز گسترده همراه با توزیع گاز یکنواخت، حداکثر درجه حرارت ۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت بالا رفتن دما حداکثر ۳۰۰°C/min، سیستم ایمنی و دوربین پردازش مجتمع است. کنترل فرآیند به صورت اتوماتیک و با دستور عمل ثابت انجام می‌گیرد. ابعاد بستر قابل تنظیم ۴، ۶، ۸ اینچ است. این مدل در سنتز گرافن و نانولوله‌های کربنی با کیفیت بالا بر روی لایه فویلی و ویفرها کاربرد دارد [۱۲].



شکل ۱۸. سیستم PECVD مدل BM NOVO [۱۲]

■ **مدل BM NOVO:** این مدل دارای دیواره سرد (برای پلاσμα)، سیستم Glove box (برای مواد حساس و جهت ایجاد حداکثر ایمنی)، حداکثر دمای ۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۰ منبع گاز، سیستم ایمنی، کنترل فرآیند به صورت اتوماتیک و با دستور عمل ثابت، پمپ توربو و اندازه جایگاه بستر حداکثر ۴ اینچ است. این سیستم رسوب‌دهی برای سنتز نانو مواد دو بعدی، به صورت یکنواخت بر روی ویفر و زیر لایه فویلی به کار می‌رود.



شکل ۱۹. سیستم Voyager (PECVD) [۱۳]

■ شرکت Denton vacuum^{۱۷}

□ Voyager (PECVD)

شرکت Denton vacuum، تولیدکننده سیستم Voy-ager که یک دستگاه رسوب‌دهی بخار شیمیایی همراه با پلاسما (PECVD) است، که جهت تولید صنعتی الماس مصنوعی (DLC) با ویژگی‌های مکانیکی و الکتریکی و تریبولوژیکی قابل تنظیم و قطعات سه بعدی به عنوان مثال لنزهای نوری و لایه‌نشانی لایه نازک همانند ویفرهای سیلیکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم دارای سیستم کنترل Denton است که امکان کنترل خودکار و کنترل دستی را فراهم می‌کند.



شکل ۲۰. Plasma Pro 80 PECVD [۱۴]

■ شرکت Oxford Instruments^{۱۸}

□ Plasma Pro 80 PECVD

Plasma Pro 80 یک سیستم کوچک جهت تولید در حجم کم است. طراحی آن به گونه‌ای است که اجازه می‌دهد ویفر با حداکثر ابعاد (نمونه ۲۰۰ میلی‌متر) به راحتی قرارگیری و برداشته و میزان اچ به خوبی کنترل شود، درجه حرارت به صورت یکنواخت و ارزان قیمت است.



شکل ۲۱. Plasma Pro 100 PECVD [۱۴]

□ Plasma Pro 100 PECVD

این سیستم با قابلیت سنتز لایه‌هایی با کیفیت و یکنواخت عالی، سرعت لایه‌نشانی بالا بر روی فیلم‌ها، جای‌گیری ویفرها با ابعاد مختلف (حداکثر ۲۰۰ میلی‌متر)، حداکثر دما ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد طراحی شده است. قادر به کنترل میزان رسوب‌دهی شیمیایی، نقص‌ها و ویژگی‌های الکتریکی است. ارزان قیمت می‌باشد.



Plasma pro 800 □

Plasma pro 800 سیستمی جمع و جور با کنترل درجه حرارت بسترو فرآیند عالی، برای فرآیندهایی با ویفرهای بزرگ در ابعاد ۳۰۰ میلی طراحی شده است.

◀ شکل ۲۲. Plasma Pro 800 [۱۴]



Plasma pro 1000 □

شرکت Plasma pro 1000. Oxford Instruments. با جایگاه‌های به صورت دسته‌ای و محل‌های تولید و رسوب‌گذاری بزرگ، قفل بار خلا و قفل بار همراه با حداکثر سه اتاقک، توان بالا، کیفیت و عملکرد بالا و کم‌هزینه طراحی کرده است.

▶ شکل ۲۳. Plasma pro 1000 [۱۴]

جدول ۲. به طور مختصر مشخصات دستگاه‌های رسوب‌دهی بخار شیمیایی خارجی را شرح می‌دهد

مدل‌ها و مشخصات تجهیزات تولیدی شرکت خارجی

نام شرکت / وب‌سایت

Enflexor™ Gen 6H PECVD	AKT 55KS PECVD	Applied Materials www.appliedmaterials.com
رسوب‌دهی با پلاسما مورد استفاده در تولید انبوه فیلم‌های نازک OLED انعطاف پذیر	رسوب‌دهی با پلاسما ابعاد زیرلایه ۲۲۰۰ × ۲۵۰۰ mm دقت بالا کاهش ناخالصی‌های هیدروژنی در جهت بهبود ترانزیستور کنترل یکنواخت لایه نشانی تولید انبوه نمایشگر MO (ترانزیستور اکسید فلزی) با کیفیت بالا	
LPCVD	APCVD CVDgCoat™	CVD Equipment Corporation www.cvdequipment.com
لایه‌نشانی با خلوص و یکنواختی بالا توانایی ایجاد خلا و فشار قابل تنظیم مورد استفاده در سنتز یکنواخت فیلم‌های نازک (اکسید رسانای شفاف، سیلیکون کاربید و...) سنتز نانومواد (نانولوله کربنی، گرافن، نانوسیم و...)	لایه‌نشانی به ضخامت چندین میکرون مورد استفاده در پوشش‌های ضد انعکاس (AR) پوشش اکسیدی رسانای شفاف سنتز نیمه‌هادی‌های ترکیب شده بهبود عملکرد و عمر تیغه توربینی	

ادامه جدول ۲. به طور مختصر مشخصات دستگاه‌های رسوب‌دهی بخار شیمیایی خارجی را شرح می‌دهد

مدل‌ها و مشخصات تجهیزات تولیدی شرکت خارجی

نام شرکت / وب‌سایت

EasyTube® PECVD	MOCVD	CVD Equipment Corporation www.cvdequipment.com
■ EasyTube® 2000 پردازش و یفرتا ۴ اینچ ■ EasyTube® 3000 پردازش و یفرتا ۶ اینچ ■ دارای کاربردهای صنعتی ■ حداکثر دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد ■ ابعاد جایگاه و یفر ۲۰۰-۱ mm ■ دارای محفظه با قفل اتوماتیک جهت کاهش انتقال جو ■ سیستم خلا با فشار ۱۰ mTorr ■ سیستم گرمایشی یکنواخت در دو جهت شعاعی و محوری ■ دارای محفظه انتقال خلا در محفظه تحت فشار جزئی H_2 ■ استفاده در رسوب کم فیلم‌های سیلیکون و ژرمانیوم	■ کنترل میزان جریان (گاز) عبوری با نرم‌افزار ■ کنترل دقیق تعداد لایه‌ها و چرخش بستر ■ رسوب‌گذاری یکنواخت ■ لایه‌نشانی مواد سمی ■ حفظ محیط از آلودگی توسط قفل مخصوص ■ دارای سیستم CVD Win Pre جهت وارد کردن خودکار داده‌ها و دستور عمل جدید ■ نمایشگر زمان و داده‌های ذخیره شده	
Veeco's Propel™ Power GaN MOCVD	K475i	Veeco Instruments Inc www.veeco.com
■ پردازش و یفرهایی با قطر ۶ و ۸ اینچی ■ تک و یفره ■ اعمال دمایی یکنواخت در سرتاسر و یفر ■ یکنواختی عالی فیلم‌ها ■ کاهش نقص لایه ■ توانایی تولید در حجم زیاد ■ مورد استفاده در صنعت الکترونیک	■ راکتور صنعتی برای تولید LED، دیودهای لیزری، ترانزیستورها ■ تولید و یفرهایی لایه نازک با یکنواختی بسیار بالا	
CVD Kejia	CVD (II)	Furnace-tech www.furnace-tech.com
■ دارای سیستم خنک‌کننده سریع ■ ساختار افقی ■ لایه‌نشانی یکنواخت ■ مناسب مواد پودری و و یفرهای نیمه‌هادی ■ حداکثر دما ۱۶۰۰-۱۴۰۰ سانتی‌گراد ■ دارای عایق فیبری و فن خنک‌کننده ■ کنترل اتوماتیک PID	■ نرخ گرمایش $300 min/^{\circ}C$ ■ دارای توان دمایی یکنواخت ■ کنترل خودکار PLD ■ دارای زنگ خطرو محافظ در دمای بالا ■ اتاق کشویی برای خنک کردن ■ مورد استفاده در و یفرهای نیمه‌هادی، سلول‌های خورشیدی	

مدل ها و مشخصات تجهیزات تولیدی شرکت خارجی

نام شرکت / وب سایت

PECVD	CVD (II)	Furnace-tech www.furnace-tech.com
- دارای مخزن گاز، پمپ مکانیکی با کیفیت بالا - ساختار کم حجم و کم مصرف - دو فن خنک کننده - حداکثر درجه حرارت ۱۶۰۰-۱۴۰۰ درجه سانتی گراد - طول منطقه داغ ۴۴۰ میلی متر - مورد استفاده: تولید فیلم های نازک و تولید نانوسیم	- حداکثر درجه حرارت کوره ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد - طول منطقه داغ ۳۰۰ یا ۴۴۰ میلی متر - پیکربندی سیستم افقی - قطر بیرونی لوله تا ۱۰۰ میلی متر - دو فن خنک کننده - کنترل PID - مقرون به صرفه - مورد استفاده: پوشاندن فیلم های نازک و تولید نانوسیم	
PECVD/CME 200E/400	CVD/CC-200/400	ULVAC www.ulvac.com
- حداکثر ابعاد زیر لایه ۲۰۰×۲۰۰ میلی متر تا ۳۰۰×۳۰۰ میلی متر - پردازش پلاسما با چگالی بالا - تمیز کردن محفظه با پلاسما - پشتیبانی از رسوب گذاری در دمای پایین - مورد استفاده در صنعت: تولید فیلم های سیلیسیم	- کارکردی آسان و کم حجم - پردازش پلاسما با چگالی بالا - تمیز کردن محفظه دستگاه توسط پلاسما - قابلیت استفاده از بسترهایی با اندازه مختلف - مورد استفاده در صنعت: تولید باتری های خورشیدی و سیستم های ایتیکی و الکتریکی	
ULGLAZE /ETP CVD		
- پشتیبانی از دمای کم - سرعت پوشش دهی بالا - مورد استفاده: پوشش دادن خراش ها، ایجاد مقاومت در برابر سایش و خوردگی، صنعت خودرو سازی (شیشه پلی کربنات خودرو)		
PECVD/ BM NOVO	PECVD/ BM Pro	AIXTRON www.aixtron.com
- دارای دیواره سرد (برای پلاسما) - Glove box دارای سیستم - حداکثر دمای ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد - دارای ۱۰ کانال گاز و پمپ توربو - کنترل فرآیند اتوماتیک - حداکثر اندازه جایگاه بستر ۴ اینچ - لایه نشانی یکنواخت - مورد استفاده: لایه نشانی نانو مواد حساس به صورت یکنواخت	- دارای ۱۰ کانال گازی - حداکثر درجه حرارت ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد - سرعت بالا رفتن دما ۳۰۰min/°C - کنترل فرآیند به صورت اتوماتیک - ابعاد بستر ۴ و ۸ اینچ - مورد استفاده: سنتز گرافن، نانولوله کربنی با کیفیت بالا	
Voyager / PECVD		
- دارای سیستم کنترل خودکار و دستی - مورد استفاده در صنعت: تولید الماس مصنوعی، لنزهای نوری و ویفرهای سیلیکونی		

Plasma pro 1000 PECVD	Plasma pro 800 PECVD	Plasma Pro 100 PECVD	Plasma Pro 80 PECVD	Oxford Instruments www.oxinst.com
- توان بالا - کیفیت و عملکرد بالا - کم هزینه - دارای سه اتاقک	- سیستمی کم حجم - کنترل درجه حرارت بستر - حداکثر اندازه وافر ۳۰۰ میلی متر	- سنتز لایه های یکنواخت با کیفیت عالی - حداکثر اندازه وافر ۲۰۰ میلی متر - حداکثر دما ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد - کنترل رسوب دهی، نقص ها - ارزان قیمت	- سیستم کوچک - حداکثر اندازه وافر ۲۰۰ میلی متر - کنترل میزان لایه نشانی - ارزان قیمت - درجه حرارت یکنواخت	

بازار داخلی دستگاه رسوب دهی بخار شیمیایی

لایه نشانی شیمیایی از فاز بخار به کمک پلاسما (PECVD)

۳۰ کیلووات	توان	شرکت پلاسما پروژه پارس
۴۰×۶۰ سانتی متر مربع	ابعاد	از این سیستم در صنایع میکروالکترونیک که نیازمند دقت ابعادی بالا است و پوشش های مقاوم به سایش و خوردگی بر روی ابزار آلات مانند مته و یاتاقان، سنتز نانولوله های کربنی و نانوالیاف کربنی مورد استفاده قرار می گیرد [۱۵]. شرکت پلاسما پروژه پارس، با مشخصات فنی زیر در استان البرز این سیستم را تولید می کند.
تا ۰،۰۵ میلی بار	خلا	
۶۰۰ درجه سانتی گراد	پیشینه دما	

شرکت دانش پویان ساتیا^{۱۹}

این سیستم در ایجاد پوشش های آب دوست و آب گریز در صنایع نساجی، انواع پوشش های حفاظتی و سنسوری، در زمینه ی کشاورزی و قطعات الکترونیک تزئینی، اپتیک و ضد باکتری در صنایع الکترونیک و اپتیک کاربرد دارد [۱۵]. مشخصات فنی سیستم به شرح زیر است:

مدل PECVD 200: ۲۲۰ ولت - ۲۰۰ وات / مدل PECVD 500: ۲۲۰ ولت - ۵۰۰ وات	ولتاژ ورودی
ارتفاع داخلی: ۲۵۰ میلی متر؛ ارتفاع خارجی: ۲۸۵ میلی متر قطر داخلی: ۲۶۰ میلی متر، قطر خارجی: ۲۷۴ میلی متر. دارای ۳ پنجره دید	ابعاد محفظه
کاتد RF از جنس مس؛ قطر ۹۰ میلی متر	کاتد
فرکانس: ۱۳،۶ مگا هرتز؛ امپدانس خروجی: ۵۰ اهم حداکثر توان خروجی: ۵۰۰ وات؛ خنک کاری با هوا؛ منبع تغذیه: ۲۲۰ ولت شهری	منبع RF
فرکانس: ۱۳،۶ مگا هرتز؛ توان: ۵۰۰ وات؛ تهویه: هوای فشرده؛ کانکتور ورودی: نوع N مادگی؛ کانکتور خروجی: نوع N مادگی؛ منبع تغذیه: ۲۲۰ ولت برق شهری	سیستم تطبیق امپدانس

■ شرکت رشد نانو فناوریان^{۲۰}

این شرکت دستگاه PECVD با کاربردهای همانند تولید نانولوله‌های کربنی، تولید ادوات نیمه هادی‌ها، جهت ایجاد پوشش‌های مقاوم به سایش و خوردگی بر روی ابزار آلات و لایه‌نشانی مواد مختلف برای ریزساختارها با مشخصات فنی زیر ارائه می‌دهد [۱۵].

ابعاد دستگاه: ارتفاع ۱۸۰ در طول ۱۴۰ در عرض ۶۰ سانتی متر	ابعاد دستگاه
دارای دو کوره به قطر ۸۰ میلی متر به طول ۸۰ سانتی متر	تعداد کوره‌ها
منطقه حرارتی تا دمای ۷۵۰ درجه سانتی گراد	دمای منطقه حرارتی
نرم افزار کنترل پروسه با قابلیت ذخیره برنامه	سیستم کنترل کننده
دارای دو کنترل کننده جریان شار گازهای استیلن و هیدروژن	کنترل کننده جریان گاز
منبع ولتاژ مستقیم تا ۱۰۰۰ ولت و ۱۰۰ میلی آمپر	منبع تغذیه
کابین کپسول های گاز در درون دستگاه	مکان کپسول های گاز

■ شرکت پلاسما فناوریان^{۲۱}

این شرکت دستگاه PECVD با کاربردهای رشد نانولوله‌های کربنی و انواع سنسورها و قطعات الکترونیک و اپتیک، بهبود مقاومت به خوردگی قطعات و پوشش دهی قالب های پلاستیک، آلومینیوم و قطعات حساس در صنایع خودرو و هوا فضا با مشخصات فنی زیر تولید می کند [۱۵].

□ مشخصات فنی دستگاه Lab PECVD

آب گرد با چرخه بسته	سیستم خنک کننده اتصالات	سه فاز ۳۸۰ ولت و ۵۰ هرتز	ولتاژ ورودی
پمپ دورانی	سیستم خلا	۸۰۰ ولت	حداکثر ولتاژ خروجی
پیرانی	خلا سنج	۱۰ آمپر	حداکثر جریان خروجی
تله سرد با ازت مایع	سیستم تصفیه خلا	۸۰-۲۰ درصد	سیکل کاری
$TiCl_4$	ماده شیمیایی مصرفی	۱۰-۲ کیلوهرتز	فرکانس ولتاژ خروجی
۱ لیتر	حجم مخزن ماده شیمیایی ($TiCl_4$)	۸-۰٫۵ میلی بار	فشار کاری
آرگون، نیتروژن، هیدروژن، متان	گاز مصرفی	۸۰۰ میلی بار	حداکثر خلا

اتوماتیک	کنترل دما	PLC, HMI Unit	سیستم کنترلر
دستی	کنترل فشار	قطر داخلی: ۴۰ cm عمق محفظه: ۶۰ cm قطر سکو: ۲۰ cm	ابعاد محفظه
اتوماتیک، با استفاده از فلومتر دیجیتال (MFC)	کنترل گاز	فولاد زنگ نزن	جنس محفظه
۵۵۰ درجه سانتی گراد	حداکثر دمای قابل دسترسی	افقی، درب جلو	وضعیت قرارگیری محفظه
نیتراسیون و ایجاد پوشش ها TiN, TiC	قابلیت ها	گرم کن حلقه ای، ۱۵ کیلووات	سیستم گرمایشی بیرونی



❑ مشخصات فنی دستگاه mini PECVD

آب گرد با چرخه بسته	سیستم خنک کننده	سه فاز ۳۸۰ ولت و ۵۰ هرتز	ولتاژ ورودی
پمپ دورانی	سیستم خلا	۸۰۰ ولت	حداکثر ولتاژ خروجی
پیرانی	خلا سنج	۱۰ آمپر	حداکثر جریان خروجی

سیکل کاری	۲۰-۸۰ درصد	سیستم تصفیه خلا	تله سرد (با ازت مایع)
فرکانس ولتاژ خروجی	۲-۱۰ کیلوهرتز	ماده شیمیایی مصرفی	TiCl ₄
فشار کاری	۰٫۵-۸ میلی بار	حجم مخزن ماده شیمیایی (TiCl ₄)	۰٫۵ لیتر
حداکثر خلا	۰٫۰۸ میلی بار	گاز مصرفی	آرگون، نیتروژن، هیدروژن، متان
سیستم کنترلر	PLC, HMI Unit	کنترل دما	اتوماتیک
ابعاد محفظه	قطر داخلی: ۲۵ cm عمق محفظه: ۴۵ cm قطر سکو: ۱۵ cm	کنترل فشار	دستی
جنس محفظه	فولاد زنگ نزن	کنترل گاز	اتوماتیک، با استفاده از فلومتر دیجیتالی (MFC)
وضعیت قرارگیری محفظه	افقی، درب جلو	حداکثر دمای قابل دسترسی	۹۰۰ درجه سانتی گراد
سیستم گرمایشی بیرونی	گرم کن حلقه ای، ۱۵ کیلووات	قابلیت ها	نیتراسیون و ایجاد پوشش های TiN, TiC

■ دستگاه رسوب دهی بخار شیمیایی (CVD)

■ شرکت مهندسی تجهیزات پیشرفته آدیکو^{۲۲}

این شرکت سیستم CVD با کاربردهایی همانند سنتز سیلیکون اکسید، پوشش های مقاوم به سایش و خوردگی بر روی ابزارآلات، الماس های ساختگی، قطعات فتوولتاییک و مدارهای مجتمع، پوشش های فوق نازک، تولید قطعات نیمه هادی، قطعات اپتیکی و الکترونی و نانولوله های کربنی با مشخصات فنی زیر ارائه می دهد [۱۵].

منطقه	۱، ۲، ۳	فلومتر	۳
راکتور	کوارتز	ولتاژ	۲۲۰ ولت
ابعاد	۵۵	توان	۳٫۵ کیلووات
دما (°C)	تا ۱۱۰۰	ابعاد (cm)	۸۵×۶۰×۶۰

■ شرکت نانو شرق ابزار توس^{۲۳}

دستگاه CVD قابلیت تولید نانولوله های کربنی، تولید نیمه هادی ها و قطعات فوتوولتاییک، پوشش های مقاوم به خوردگی، سایش و حرارت، قطعات اپتیک و اپتوالکترونیکی و تولید نانو مواد صفر، یک، دو و سه بعدی را دارد [۱۵]. با مشخصات فنی زیر ارائه می شود:

مدل های دستگاه	CVD (لایه نشانی شیمیایی بخار)	R-CVD (لایه نشانی شیمیایی بخار دارای ریل حرکتی)
تعداد ناحیه گرمایی	یک ناحیه	یک، دو، سه ناحیه
سیستم گرمایشی	المنت کاربید سیلسیم	المنت نیکروم
حداکثر دمای نقطه ای	۱۳۵۰ درجه سانتی گراد	۱۲۵۰ درجه سانتی گراد
طول ناحیه گرمایش	۲۲ سانتی متر	
قطر تیوپ	۵ سانتی متر	
جنس تیوپ	کوارتز، آلومینا و استیل (سفارش مشتری)	
پمپ خلا	روتاری، دیفیوژنی، توربو مولکولار (سفارش مشتری)	
خلا سنج	پیرانی	

■ شرکت نانو ایتکار پایدار^{۲۴}

این شرکت دستگاه لایه نشانی بخار (CVD) با کاربردهای تولید لایه های نازک، نانولوله های کربنی، نانوساختارهای نیمه رسانا و مشخصات فنی زیر ارائه می دهد [۱۵].

منطقه حرارتی	۳ ناحیه	پیشینه دما	خارجی: ۸۰ میلی متر
جنس محفظه	کوارتز	توان دستگاه	۶ کیلووات
اصلی دستگاه	داخلی: ۷۵ میلی متر	برق ورودی	۳ فاز
قطر محفظه			

خلاصه مدیریتی

روش رسوب دهی بخار شیمیایی در دماهای بالا و فشار پایین انجام می گیرد. سه مرحله اصلی این روش ها عبارتند از واکنش سطحی، نفوذ، و جذب است. CVD براساس نوع منبع گرمایی، دما و فشار اتا فک به چندین روش تقسیم می شود. هریک از این روش ها براساس هزینه مورد نیاز، یکنواختی پوشش، قابلیت ایجاد لایه، کنترل مشخصه لایه نازک، تولید می شود و دارای مزایا و معایب هستند. امروزه با رشد فناوری نانو و تولید نانو مواد و استفاده از آن ها در صنعت، صنعت گران به رقابت در تولید سیستم های تولیدی نانو مواد در تولید انبوه می پردازند. خوشبختانه کشور ما در این صنعت رو به پیشرفت است.

پی‌نوشت‌ها

- ۱ Chemical vapor deposition
- ۲ Metal organic chemical vapor deposition
- ۳ Atmospheric pressure chemical vapor deposition
- ۴ Low pressure chemical vapor deposition
- ۵ Ultra-High vacuum chemical vapor deposition
- ۶ Plasma chemical vapor deposition
- ۷ Atomic layer chemical vapor deposition
- ۸ Photon chemical vapor deposition
- ۹ www.appliedmaterials.com
- ۱۰ Organic Light Emitting Diode
- ۱۱ www.cvdequipment.com
- ۱۲ Anti-reflection
- ۱۳ www.veeco.com
- ۱۴ www.furnace-tech.com
- ۱۵ www.ulvac.com
- ۱۶ www.aixtron.com
- ۱۷ www.dentonvacuum.com
- ۱۸ www.oxinst.com
- ۱۹ www.satiaco.com
- ۲۰ www.mfco.ir
- ۲۱ www.plasmafanavar.com
- ۲۲ www.adeeco.ir
- ۲۳ www.nanosatco.com
- ۲۴ sanaterooz@yahoo.com

مراجع

- ۱ Handbook of chemical vapor deposition (CVD) principles, technology, and applications,
- ۲ Handbook of chemical vapor deposition (CVD) principles, technology, and applications,
- ۳ C. Jones, Chemical Vapor Deposition: Precursors, Processes and Applications.
- ۴ مقاله، مکانیسم رسوب‌دهی بخار شیمیایی؛ مبینا کلهریان، معصومه قاسمی‌نژاد
- ۵ Ch. .Bhattacharjee and A. Nath, Review article Chemical vapour deposition (CVD) technique and the synthesis of carbon nano materials (CVMs).
- ۶ M. Kumar and Y. Ando, Review article Chemical vapour deposition of carbon nano tubes: a review in growth mechanism and mass production.
- ۷ <http://www.appliedmaterials.com/product-library/listing>
- ۸ www.cvdequipment.com
- ۹ www.veeco.com/products/nexus-cvd-chemical-vapor-deposition-system
- ۱۰ www.furnace-tech.com
- ۱۱ www.ulvac.com/systems/CVD/CVDSinglesubstrate/CVDCC
- ۱۲ www.aixtron.com/de/innovation/technologien/mocvd
- ۱۳ www.dentonvacuum.com/products-technologies/pe-cvd/
- ۱۴ plasma.oxinst.com/campaigns/technology/pecvd
- ۱۵ <http://nano.ir/page/1/2371>