



هلیوم و صنعت نیمه‌هادی‌ها: چگونه این گاز به تولید تراشه‌ها کمک می‌کند؟

شرکت گاز کربنیک اردستان



◀ مقدمه:

هلیوم یکی از عناصر مهم در تولید تراشه‌ها و صنعت نیمه‌هادی‌هاست که نقش کلیدی در بسیاری از مراحل این فرآیند پیچیده دارد. این گاز سبک و بی‌اثر به خاطر ویژگی‌های منحصر به فردش، از جمله قابلیت هدایت حرارتی بالا و عدم واکنش‌پذیری، در ایجاد محیط‌هایی مناسب برای تولید و پردازش نیمه‌هادی‌ها استفاده می‌شود. در ادامه به بررسی نقش هلیوم در این صنعت، فواید و کاربردهای آن می‌پردازیم.

◀ تامین محیط بی‌اثر:

در فرآیندهای تولید تراشه‌ها، ایجاد محیطی بی‌اثر (inert) برای محافظت از مواد حساس و جلوگیری از واکنش‌های ناخواسته با هوا و سایر ترکیبات بسیار ضروری است. هلیوم به‌عنوان یک گاز بی‌اثر ایده‌آل در این زمینه انتخاب می‌شود. برخی عناصر، مانند اکسیژن و نیتروژن، می‌توانند در محیط‌های صنعتی باعث اکسیداسیون یا تشکیل ترکیبات ناخواسته شوند. از آنجا که هلیوم یک گاز نجیب است، واکنش‌پذیری بسیار پایینی و پایداری بالایی در دماها و شرایط مختلف دارد.

به‌طور خاص، هلیوم دارای ویژگی‌هایی مانند پراکندگی و نفوذ بالا است. به این معنا که اگر کوچکترین شکافی در سیستم باشد، هلیوم به راحتی از آن عبور می‌کند و بنابراین در نشتی‌یابی سیستم‌ها نیز می‌توان از آن استفاده کرد. اما از دیدگاه اصلی ایجاد محیط بی‌اثر، مهم‌ترین ویژگی هلیوم عدم واکنش‌پذیری آن است که به حفظ خلوص محیط کمک می‌کند.

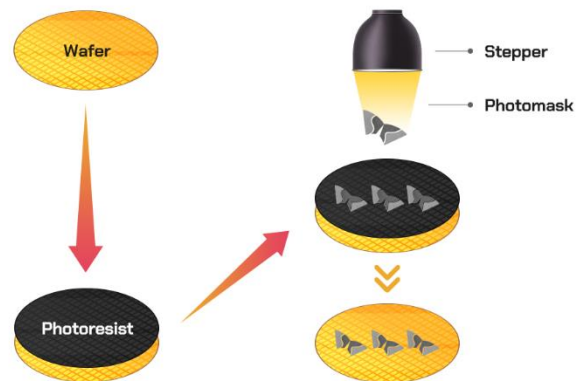
علاوه بر این، رسانایی حرارتی بالای هلیوم امکان حفظ دمای یکنواخت را فراهم می‌کند. در بسیاری از مراحل ساخت، از جمله فرآیندهای اکسیداسیون حرارتی که نیاز به دماهای بالا دارند، اگر گاز محافظ به خوبی حرارت را منتقل کند، می‌توان از تغییرات دمای ناخواسته و ناهمگن در سطح ویفر جلوگیری کرد. این قابلیت هلیوم در کاهش پتانسیل برای ایجاد تنش‌های حرارتی ناخواسته در تراشه‌ها بسیار ارزشمند است. در نبود هلیوم یا گازهای بی‌اثر مشابه، واکنش‌های جانبی مختلفی بین مواد نیمه‌هادی و اکسیژن یا سایر ترکیبات هوا رخ می‌دهد که می‌تواند موجب ایجاد نقص در ساختارها و لایه‌های ظریف



نیمه‌هادی‌ها شود. این نقص‌ها کیفیت نهایی تراشه را کاهش داده و کارایی و طول عمر آن‌ها را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند.

« کاربرد در لیتوگرافی:

در فرآیند لیتوگرافی، که یکی از پیچیده‌ترین مراحل تولید تراشه‌هاست، هلیوم به‌ویژه برای کنترل دقیق و پایداری محیط به کار می‌رود. لیتوگرافی نوری (photolithography) از تاباندن پرتوی نور بر روی ویفر برای ایجاد الگوهای دقیق استفاده می‌کند، و هرگونه تغییر حرارتی می‌تواند این الگوها را خراب کند. اینجاست که هلیوم، با رسانایی حرارتی بالا و توانایی ایجاد یک محیط بی‌اثر و پایدار، نقش کلیدی ایفا می‌کند. رسانایی حرارتی بالای هلیوم کمک می‌کند تا حرارت تولید شده در فرآیندهای شدید و متوالی لیتوگرافی، سریعاً پخش شود. در نتیجه، دما در سطح ویفر ثابت باقی می‌ماند و از ایجاد نواحی با دمای متفاوت که می‌تواند باعث انقباض و انبساط و ناهمگون و در نهایت تخریب الگوها شود، جلوگیری می‌کند. این کنترل دقیق حرارتی باعث افزایش دقت در ابعاد الگوهای لیتوگرافی شده و در نتیجه امکان تولید تراشه‌های کوچکتر و پیچیده‌تر با ترانزیستورهای بسیار ریز فراهم می‌شود.



همچنین، هلیوم به دلیل ویسکوزیته پایین و نفوذپذیری بالا، به صورت یکنواخت در تمامی بخش‌های محفظه لیتوگرافی جریان پیدا می‌کند و از تشکیل نقاط با غلظت متفاوت جلوگیری می‌کند. این یکنواختی در توزیع گاز برای حفظ ثبات الگوها حیاتی است، زیرا ناپایداری در ترکیب گازها یا حتی حضور کمترین ناخالصی می‌تواند کیفیت پرتوی لیزر را تحت تاثیر قرار دهد و روی فرآیند ثبت الگوهای دقیق اثر منفی بگذارد. عدم واکنش‌پذیری هلیوم نیز حیاتی است. بسیاری از مواد مورد استفاده

در لیتوگرافی، از جمله فوتورزین‌ها، نسبت به اکسیژن یا نیتروژن حساس هستند و در حضور این گازها به سرعت دچار تغییرات شیمیایی می‌شوند. این تغییرات می‌توانند موجب اکسیداسیون، تغییر رنگ یا تخریب خواص نوری شوند. اما هلیوم، به عنوان یک گاز نجیب، با هیچ یک از این مواد وارد واکنش نمی‌شود، و این امکان را فراهم می‌کند تا الگوها بدون تداخل شیمیایی و در محیطی بسیار خالص و پایدار ثبت شوند. در نهایت، برای ایجاد ساختارهای بسیار ریز (sub-nanometer)، پایداری و یکنواختی محیط، که هلیوم به طور تخصصی ارائه می‌دهد، اهمیت زیادی دارد.

« کاهش پخش حرارت در خلأ:

در صنعت نیمه‌هادی‌ها، بسیاری از فرآیندهای تولید در محیط‌های خلأ انجام می‌شوند، زیرا خلأ اجازه می‌دهد تا واکنش‌ها و پدیده‌های شیمیایی به شکل دقیق‌تر و تحت کنترل بیشتری صورت گیرند. اما در خلأهای عمیق، انتقال حرارت به یک چالش تبدیل می‌شود؛ زیرا هوا یا هر گاز دیگری به اندازه کافی برای انتقال حرارت موجود نیست. در اینجا، هلیوم به عنوان یک واسطه انتقال حرارت در محیط‌های خلأ بسیار موثر عمل می‌کند.

ظرفیت حرارتی بالا و رسانایی گرمایی برتر هلیوم آن را در محیط‌های خلأ ایده‌آل می‌سازد. برخلاف دیگر گازها، هلیوم به خوبی حرارت را حتی در فشارهای پایین منتقل می‌کند. به عنوان مثال، در فرآیندهای تبخیر فیزیکی (PVD) یا رسوب‌دهی شیمیایی بخاری (CVD)، تجهیزات و ویفرها به شدت گرم می‌شوند. در این شرایط، هلیوم وارد محفظه خلأ می‌شود تا به عنوان یک واسطه حرارتی عمل کرده و حرارت اضافی را از سطح دستگاه‌ها و ویفرها به سرعت دور کند.

ویژگی پراکندگی بالای مولکول‌های هلیوم نیز باعث می‌شود که این گاز بتواند به سرعت در محیط‌های کم‌تراکم و خلأ به طور یکنواخت توزیع شود. به دلیل این ویژگی، در محیط‌های خلأ با چگالی پایین که انتقال حرارت بسیار مشکل است، حتی حضور مقدار کمی هلیوم می‌تواند به طور موثری حرارت را در سیستم منتقل کند و نقاط گرم و سرد را کاهش دهد. این امر به حفظ پایداری حرارتی ویفرها کمک می‌کند و از تنش‌های حرارتی ناخواسته که می‌تواند باعث آسیب به ساختارهای نیمه‌هادی شود، جلوگیری می‌کند.



برای یونیزه کردن هلیوم و تولید پلاسما، انرژی کمتری نسبت به گازهای دیگر مانند آرگون نیاز است. این به آن معناست که می‌توان در دماها و انرژی‌های پایین‌تر، سطح ویفر را تمیز کرد و از آسیب رسیدن به آن جلوگیری کرد.

– نفوذ عمیق‌تر و دقیق‌تر پلاسما:

به دلیل وزن مولکولی پایین، هلیوم نسبت به گازهای سنگین‌تر به شکل یکنواخت‌تری در سراسر سطح ویفر توزیع می‌شود و حتی به شکاف‌ها و فضاهای بسیار کوچک سطح نیز نفوذ می‌کند. این ویژگی کمک می‌کند که آلودگی‌ها از تمام سطح و لبه‌های نازک نیز به‌طور کامل پاک شوند.

– کاهش اثرات جانبی حرارتی:

در تمیزکاری‌های پلاسما، تولید گرما می‌تواند به ساختارهای ظریف ویفر آسیب بزند. هلیوم با ظرفیت حرارتی بالا و انتقال سریع حرارت، از ایجاد نقاط داغ روی ویفر جلوگیری می‌کند و باعث می‌شود تمیزکاری با کمترین اثر حرارتی انجام شود. با استفاده از پلاسما هلیوم، تمیزکاری ویفر به دقت بالا و با حداقل تغییرات ساختاری یا شیمیایی انجام می‌شود. این ویژگی به ویژه در مراحل نهایی تولید که نیاز به خلوص سطحی بسیار بالا دارند، اهمیت زیادی دارد. (عکس شماره ۲)

► خنک‌سازی دستگاه‌های تولید با استفاده از هلیوم

هلیوم یکی از بهترین گزینه‌ها برای خنک‌سازی دستگاه‌های تولید نیمه‌هادی است به دلایل زیر:

– ظرفیت حرارتی بالا:

هلیوم گاز بسیار سبکی است که می‌تواند به‌خوبی حرارت را انتقال دهد. این ویژگی به این معناست که هلیوم می‌تواند به سرعت حرارت تولیدشده را از منبع تولید (مثل نیمه‌هادی‌ها یا ماشین‌آلات) منتقل کرده و به سیستم‌های خنک‌کننده منتقل کند.

– خواص حرارتی مطلوب:

هلیوم دارای دمای جوش بسیار پایین (حدود -۲۶۸ درجه سانتی‌گراد) است که این ویژگی باعث می‌شود در دماهای پایین به راحتی بخار شود. این امر باعث می‌شود که هلیوم در سیستم‌های خنک‌کننده به‌ویژه در دماهای بسیار پایین که در برخی فرآیندهای تولید نیمه‌هادی‌ها مورد نیاز است، کارآمد باشد.

این کاربرد هلیوم به خصوص در فرآیندهایی که نیاز به دقت بالا در کنترل دما دارند بسیار حیاتی است، زیرا تغییرات دمایی حتی در حد چند درجه می‌تواند موجب تغییرات ساختاری در سطح نانو شود. برای مثال، در فرآیندهای ساخت لایه‌های چند نانومتری، تفاوت دمایی کوچک می‌تواند باعث ایجاد ترک، تغییر ساختار بلوری یا حتی شکست لایه‌ها شود. حضور هلیوم و توانایی آن در انتقال حرارت به شکلی موثر و یکنواخت در خلأ، نقش کلیدی در جلوگیری از این مشکلات دارد و به همین دلیل یکی از مواد ضروری در صنعت نیمه‌هادی‌ها به شمار می‌رود.

► پلاسما هلیوم برای پاک‌سازی

در تولید نیمه‌هادی‌ها، یکی از مراحل مهم، تمیز کردن سطح ویفرها است تا هرگونه آلودگی، ذرات گرد و غبار و لایه‌های نازک اکسید از سطح آن‌ها پاک شوند. برای این منظور، از پلاسما هلیوم به عنوان یک روش بسیار موثر و کنترل‌شده استفاده می‌شود. پلاسما هلیوم (حالت یونیزه شده هلیوم) در این فرایند می‌تواند به‌طور دقیق و بدون آسیب رساندن به مواد حساس نیمه‌هادی، سطح ویفر را از آلودگی‌ها و مواد ناخواسته پاک کند. پلاسما هلیوم از یون‌ها و الکترون‌های پرنرژی تشکیل شده است. وقتی هلیوم به پلاسما یونیزه تبدیل می‌شود، انرژی آزاد شده توسط الکترون‌ها و یون‌های آن می‌تواند به راحتی آلودگی‌ها را از سطح ویفر جدا کند. پلاسما با ایجاد برخوردهای انرژی‌زا با آلودگی‌ها و لایه‌های نازک سطحی، آن‌ها را تجزیه کرده و به بخار یا ترکیبات فرار تبدیل می‌کند که سپس از محفظه تخلیه می‌شوند.

در مقایسه با سایر گازها مانند اکسیژن و آرگون که در تمیزکاری‌های پلاسما نیز به کار می‌روند، هلیوم چند مزیت ویژه دارد:

– عدم واکنش‌پذیری:

بر خلاف اکسیژن که می‌تواند به راحتی وارد واکنش‌های اکسیداسیونی با مواد سطحی شود، هلیوم به دلیل بی‌اثر بودن هیچ واکنش شیمیایی مستقیمی با مواد نیمه‌هادی یا آلودگی‌های سطحی ایجاد نمی‌کند. این موضوع امکان تمیزکاری دقیق بدون تغییر شیمیایی ناخواسته سطح ویفر را فراهم می‌کند.

– تولید پلاسما با انرژی کمتر:



– عدم واکنش شیمیایی و ایمنی:

هلیوم یک گاز بی‌اثر است، یعنی با دیگر مواد یا دستگاه‌ها واکنش شیمیایی ندارد. این ویژگی آن را برای استفاده در دستگاه‌های حساس و پیچیده بسیار ایمن می‌کند، زیرا نگرانی‌های مربوط به خوردگی یا خرابی ناشی از واکنش‌های شیمیایی در آن وجود ندارد.

– خنک‌کنندگی در شرایط خاص:

در فرآیندهای تولید نیمه‌هادی، مانند رشد بلورهای سیلیکون یا تولید لیزرها، ممکن است به دماهای بسیار پایین نیاز باشد. هلیوم به‌عنوان یک خنک‌کننده با قابلیت کاهش دما تا نزدیک به صفر کلوین، می‌تواند به حفظ دمای مورد نظر کمک کند.

► کاربردهای دیگر هلیوم در تولید تراشه‌ها

۱. کاربرد در لیتوگرافی نانو: لیتوگرافی نانو که به ساختارهای بسیار کوچک و دقیق نیاز دارد، از هلیوم به‌عنوان گاز حامل بهره می‌برد. این گاز به کنترل بهتر حرارت و جلوگیری از تغییر شکل‌های ناخواسته در سطح نانو کمک می‌کند.

۲. پایداری واکنش‌ها در دمای پایین: بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در دمای پایین بهتر انجام می‌شوند. استفاده از هلیوم در این مراحل به کنترل دما کمک کرده و واکنش‌ها را پایدارتر می‌کند.

۳. تولید بسترهای نازک و یفرها: یفرها به بسترهای نازک و دقیقی نیاز دارند. هلیوم به‌عنوان یک گاز حمایتی در فرآیند تولید این بسترهای نازک به کار می‌رود و به ساخت دقیق‌تر یفرها کمک می‌کند.

۴. کاهش نویز الکتریکی: هلیوم در مراحل ساخت تراشه می‌تواند نویز الکتریکی را کاهش دهد و از مشکلات ایجاد شده در اثر این نویز جلوگیری کند.

۵. ایجاد خلأ برای حذف گازهای ناخواسته: هلیوم با ایجاد خلأ در فرآیند تولید نیمه‌هادی‌ها به حذف گازهای ناخواسته و کنترل دقیق محیط پردازش کمک می‌کند.

۶. بهبود کیفیت سطوح و یفرها: از آنجا که تراشه‌ها به سطوح بسیار صاف و بدون نقص نیاز دارند، هلیوم برای کاهش آلودگی و بهبود کیفیت سطح و یفرها بسیار مفید است.

۷. کنترل ضخامت لایه‌ها: هلیوم در فرآیندهای کنترل ضخامت لایه‌ها به کار می‌رود و باعث می‌شود لایه‌های نازک با دقت بیشتری روی ویفرها قرار گیرند.

۸. حذف ذرات ناخواسته: یکی دیگر از کاربردهای هلیوم در صنعت نیمه‌هادی‌ها، حذف ذرات ناخواسته از روی تراشه‌هاست، که می‌تواند کیفیت محصول نهایی را افزایش دهد.

۹. پشتیبانی در فرآیند اچینگ: هلیوم در فرآیندهای اچینگ Etching (فرآیندی است که طی آن از یک ماده شیمیایی یا فیزیکی برای حذف لایه‌های نازک از سطح تراشه استفاده می‌شود تا الگوها یا ساختارهای مورد نظر ایجاد گردد.) به کار می‌رود تا مواد زائد حذف شده و کیفیت سطح تراشه بهبود یابد.

۱۰. پیشگیری از آلودگی محیطی: از هلیوم برای جلوگیری از آلودگی محیط پردازش با مواد شیمیایی مضر استفاده می‌شود، که در نتیجه کیفیت تولید بهبود می‌یابد.

۱۱. بهبود عملکرد لیزرها در برش و یفرها: هلیوم در عملکرد لیزرها برای برش دقیق ویفرها نقش مهمی دارد و به کارایی و دقت آن‌ها کمک می‌کند.

۱۲. کاهش استفاده از گازهای مضر: با استفاده از هلیوم، می‌توان نیاز به گازهای مضرتر مانند کلر و فلئوئور را کاهش داد و محیط کاری ایمن‌تری ایجاد کرد.

در نهایت، هلیوم در صنعت نیمه‌هادی‌ها به‌عنوان یک گاز استراتژیک و کلیدی شناخته می‌شود که به تولید تراشه‌های باکیفیت و کارآمد کمک می‌کند. استفاده بهینه از هلیوم در مراحل مختلف تولید، به این صنعت امکان می‌دهد تا دقت و عملکرد محصولات خود را افزایش دهد و در نتیجه فناوری‌های پیشرفته‌تری را به بازار عرضه کند.