کاشت یونی در سطح

س. توماس پیکراکس و پال س. پیرسی

نشاندن یونهای خارجی در سطح یك ماده تغییراتی در ساختار و ترکیب آن به وجود می‌آورد که باعث ایجاد خواص جدید می‌شوند. ارزش این فن، هم در صنعت و هم در پژوهشهای بنیادی، رو به افزایش است.

سطح ماده همواره بامحیط اطراف خود درتماس است. یك شیء در سطح خود خورندگی وفرسایش پیدا می کند ودرمعرض نور و برهم‌کنش بامیدانهای الکتریکی و مغناطیسی خارجی قرار می گیرد. با کوچکترشدن قطعات مکانیکی و الکترونیکی، نسبت سطح به‌حجم افزایش می‌یابد و در نتیجه ویژگیهای سطح اهمیت بیشتری پیدا می کند. درعین حال خواص الکتریکی، مکانیکی، نوری یاشیمیایی که برای سطح یك شیء ضروری است با الزامات خواص توده‌ای آن، ازقبیل پایین بودن قیمت ماده،استحکام زیاد ویاسهولت‌ساخته شدن‌آن شیء در تقابل است.

فنی به‌نام کاشت‌یونی، آزادی عمل وکنترل غیرمنتظره‌ای در آماده‌سازی سطوح از لحاظ داشتن خصوصیات ویژه‌ای که مستقل ازخواص تودهٔ‌آن باشد عرضه می کند. تقریباً مقدار قابل کنترلی‌از هرعنصر را می‌توان به‌صورت یك پرتویونی درآورد و به روش الکتروستاتیکی، شتاب داد و با تاباندن آن برسطح یك ماده آن‌را با مادهٔ میزبان درهم‌آمیخت. دراین‌حال یونهای خارجی بااتمهای مادهٔ میزبان ترکیب می‌شوند ودرعمقی‌ازپیش تعیین شده، لایه‌ای احتمالاً به ضخامت یك ده میلیونیم متر در ناحیهٔ سطح تشکیل می‌دهند. این‌عمل به ساختارها و ترکیبات منحصر به‌فردی منجر می‌شود؛ مثلاً، می‌توان‌ازفلزاتی‌که درحالت مایع امتزاج‌ناپذیرند آلیاژ تهیه کرد، یایك ماده‌را درماده‌ای دیگر درغلظتی وارد کرد که هرگز نمی‌تواند در دماهای بالایی که برای مخلوط کردن آنها لازم است انجام پذیرد. بنابراین خواص سطح اغلب به طرق غیرقابل انتظار ومساعدی تغییر می‌یابد.

با درهم آمیختن شاخه‌های کاملاً متمایز علوم، کاشت یونی به‌صورت یك روش پژوهشی در اوایل دههٔ ۱۹۶۰ ظاهر گردید. فیزیکدانان درپژوهشهایی‌دربارهٔ برخوردهای اتمی وساختارهسته، پرتوهای ذرات پر انرژی را به درون ماده هدایت می کردند. متخصصان شیمی هسته‌ای، کوشش می کردندکه تغییرات ایجادشده درساختار بلوری جامدات‌را هنگام نشرذرات پرانرژی تعیین کنند. درعین حال پژوهشگرانی که برروی الکترونیك نیم رساناها کار می کردند در جستجوی راههای جدیدی برای دوپه کردن سیلیسیم بودند. دوپه کردن به معنی وارد کردن اتمهای یك عنصر خارجی به‌درون ساختار بلوری به‌منظور ایجاد تغییر درخواص الکتریکی آن است. کوچك‌سازی قطعات، و سعی درساخت مدارهای مجتمع (I.C.) که مجموعه‌ای ازترانزیستورها، دیودها، مقاومتها وخازنها را روی یك قطعه به‌هم متصل می‌سازد، به‌وسایل دقیقتری برای دوپه کردن غیرازدوفن به کاررفته درآن‌زمان، یعنی درمعرض گذاری سیلیسیم درمقابل عنصر خارجی گازی شکل، یا پوشاندن سیلیسیم بافیلمی‌ازعنصرخارجی، نیازداشت.هردوفن به‌پخش اتمهای‌خارجی به‌درون سیلیسیم دردماهای بالا تکیه داشتندکه نتیجهٔ‌آن یك برش غلظتی‌است‌که به‌تدریج باعمق تغییر می کند.

چون اعمال الکتریکی مدارهای مجتمع درلایه‌های بسیار نازك انجام می گیرد، روشی مورد نیازبودکه بتواندکنترل دقیق برتعداد وعمق‌جای اتمهای خارجی‌داشته باشد. بااستفاده ازپرتوهای یونی پرانرژی نظیرآنچه‌که توسط فیزیکدانان‌وشیمیدانان درپژوهشهای بنیادی به‌کار گرفته می‌شد، پژوهشگرانی‌که برروی نیم‌رساناها کار می کردند دریافتندکه می‌توان سیلیسیم‌را بادقت زیاد دوپه کرد. این روش، درصنعت میکروالکترونیك انقلابی به‌وجودآورد و توسعه وساخت وسایل نیم‌رسانای‌کم قدرت وبسیار سریع‌راکه امروزه در ماشین‌حسابهای‌کوچك وکامپیوترهای پیشرفته به‌کارمی‌رود ممکن ساخت. ما ودیگرپژوهشگران‌که درجستجوی امکاناتی برای ایجاد تغییر ناشی ازپرتو یونی در مواد دیگر (فلزات و مواد عایق نظیر سرامیك وشیشه) هستیم دریافته‌ایم که‌این‌فن‌هم درمورد فرایندهای تجارتی وهم به‌صورت ابزاری درعلم مواد، نویددهنده‌است.

وسیلهٔ مورد استفاده در بررسی پرتویونی مواد با آنچه‌که در تجسس برهم‌کنشهای هسته‌ای‌به‌کار می‌رود باوجود اختلاف‌هدف، تفاوتی اندك دارد. یونها ازیك انتهای شتاب‌دهنده‌ای در درون یك محفظه‌که درآن الکترونها ازیك تارسیم داغ می‌جوشند منشأ می گیرند. اگر عنصری که می‌باید یونیده شود به شکل گازی در دسترس باشد، نظیر گازآرگون یاکربن به‌شکل کربن دیوکسید، آن را مستقیماً وارد محفظه می کنند. برخورد آنها با الکترونهای خیلی‌سریع باعث‌خارج‌شدن‌الکترونهای خود عنصرشده و گازیونیده

شده ویك‌پلاسما ایجاد می‌شود. جامدات فرار را می‌توان دراجاقی با دریچهٔ ورودی به محفظهٔ پلاسما به‌منظور تبخیرنمودن گرم کرد وسپس باالکترونهای پرانرژی‌آنها را یونیده نمود.

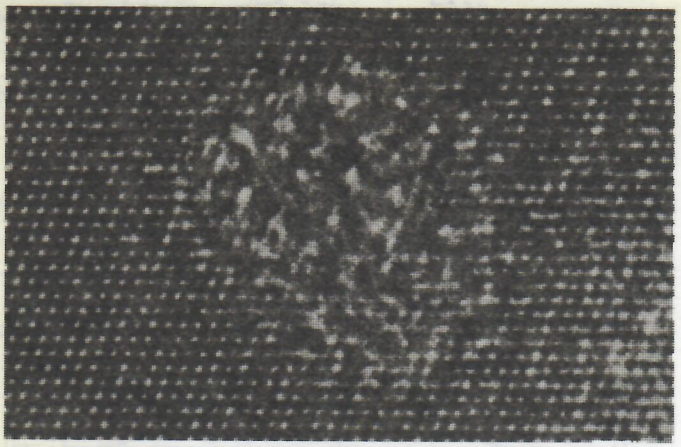
این فرایند درمورد جامدات غیرفرار پیچیده‌تر است. ورقه‌ای‌از مادهٔ مورد نظررا در محفظه قرار می‌دهند سپس گازی نظیرآرگون یونیده می‌گردد. به ورقهٔ مذکور بار منفی داده می‌شودکه باعث جذب یونهای مثبت گازمی‌گردد. برخورد یونهاباسطح ماده‌مستقیماً باعث‌کنده شدن اتمها شده وبه‌اندازهٔ کافی گرما برای تبخیراتمهای دیگراز سطح ایجاد می‌کند. این‌اتمهای آزادشده دراثر برخورد با الکترونها یونیده می‌شوند.

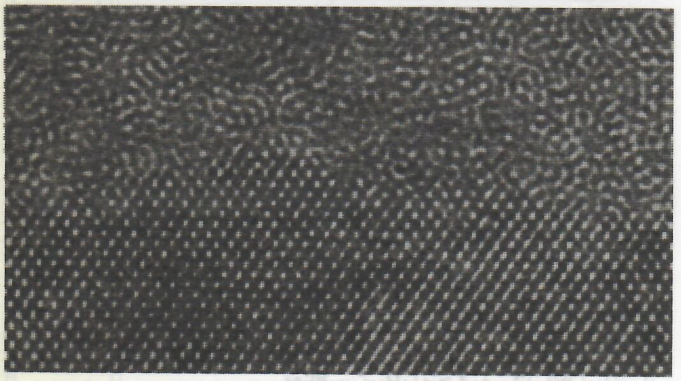
سپس یك میدان‌الکتریکی این پلاسمارا ازمحفظه خارج‌می‌کند. دراغلب موارد یك پرتویونی باخلوص نسبتاً زیاد مورد نیازاست. برای این منظور یك آهنربای قوس‌مانند لوله‌را در بر می‌گیرد و یونهای مورد نظر را بازاویه‌ای دقیق منحرف می‌سازد. میزان انحراف یونهای سبك بیشتر بوده و ازمسیر پرتو خارج می‌شوند؛ یونهای سنگینتر بازاویه‌ای‌کمتر منحرف شده و ازمسیر پرتو دور می‌شوند. یك‌سری میدانهای الکتریکی پرتو خالص‌شده‌را متمرکز وتاانرژی نهایی آن‌را شتابدار کرده وبه‌محفظهٔ کاشت می‌فرستندکه درآنجا به هدف اصابت می‌کند. به علت باریکی پرتو، مثلاً در حدود چندسانتی‌متربایستی سرتاسرهدف‌را به‌منظور کاشت‌یکنواخت جاروکرد. دراغلب موارد الکترودهایی دراطراف ورودی محفظهٔ کاشت قرار دارندکه پرتو را ازسویی به‌سوی دیگرجارو می‌کنند. در مواردی نیز به‌جای این عمل، مادهٔ هدف را حرکت می‌دهند.

یونها به‌محض ورود به‌مادهٔ هدف دراثربرخورد باالکترونها و هسته‌ها انرژی خود را از دست داده و به حال سکون درمی‌آیند. محتملترین عمق نفوذ، که برد پرتاب نامیده می‌شود را می‌توان با استفاده ازنوع وانرژی‌یونها وخصوصیات ماده محاسبه کرد، مثلاً در انرژیهای پرتویونی بین ۱۰ تا ۵۰۰ کیلو الکترون ولت، برد پرتاب، بسته به‌نوع‌یون ومادهٔ میزبان، بین ۱۰ تا۱۰۰۰ نانومتر (یك میلیاردم‌متر) تغییر می‌کند. البته تك تك یونها در برد پرتاب متوقف نمی‌شوند، بلکه می‌توان عمق‌آنها را به‌صورت یك منحنی زنگ مانند، بامرکز زنگ دربرد پرتاب، نشان داد. پهنای‌منحنی، انحراف استاندارد عمقها را دراطراف برد پرتاب مشخص می‌کند.

احتمالاً نه‌تنها می‌توان توزیع عمق اتمهای کشت شده، بلکه تغییردرترکیبی که این یونها در مادهٔ میزبان ایجاد می‌کنند را نیز پیش‌بینی و درنتیجه کنترل کرد. این محاسبه، شاریونی پرتو، تعداد اتمها درواحد حجم، هدف وزمان‌تابش گیری‌را به‌حساب می‌آورد. فرض کنیدکه ترکیب ناحیه‌ای از سطح به‌ضخامت ۱۰۰ نانومترکه دارای ۵×۱۰^{۲۲} اتم درهرسانتی‌مترمکعب‌است بایستی۱۰قسمت درمیلیون تغییرکند. باشاری از پرتو یونی برابر $۱۰^{۱۴}$ یون در سانتی‌مترمکعب‌درثانیه، زمان تابش گیری به‌اندازه یك‌بیستم ثانیه کفایت خواهدکرد. یك تغییر ۲۰درصد درترکیب ماده به یك زمان تابش گیری حدود ۲۰ دقیقه به‌ازای واحد سطح نیازدارد. به‌منظور دستیابی به‌توزیعی یکنواخت‌ازاتمهای کشت شده درسراسرمحدودهٔ کاشت، می‌توان انرژی پرتو یونی را طوری تغییر دادکه مجموع منحنیهای توزیع مجزا یك‌نیمرخ توزیع تقریباً ثابت رانمایش‌دهد.

فروبردن‌یونهای خارجی به‌درون شبکهٔ یك‌ماده بلوری به‌طرق

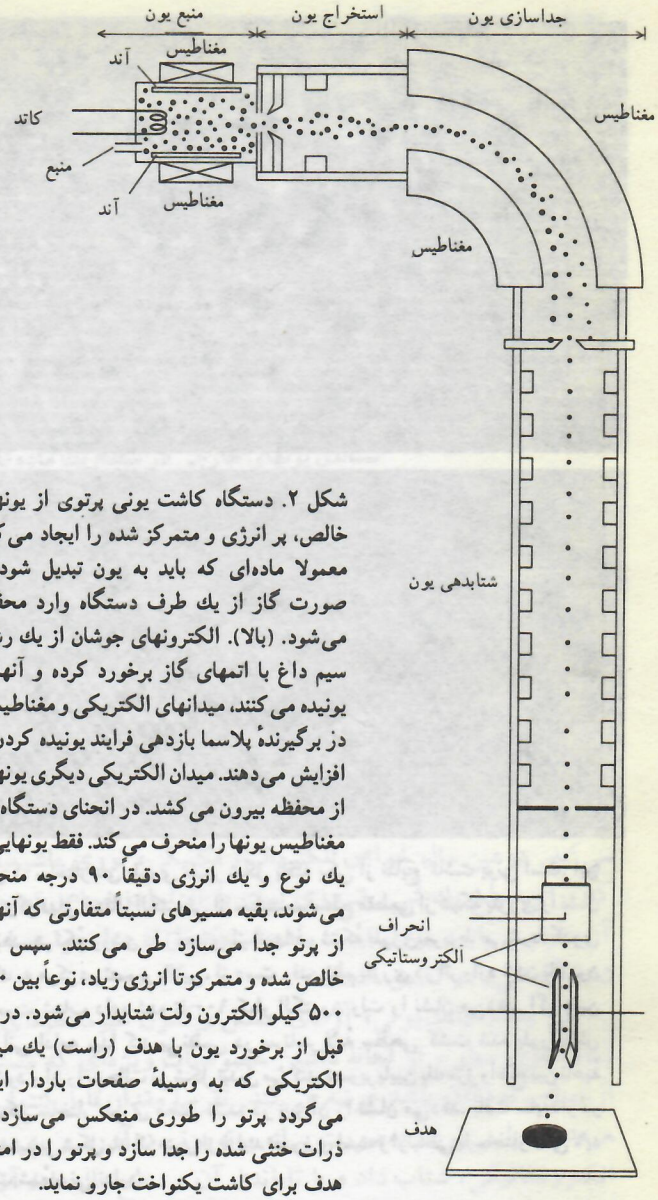




شکل ۱. ساختارهای بلوری تغییر شکل یافته یکی از نتایج کاشت یونی است. این میکروگرافهای انتقال الکترونی از سیلیسیم، سطح مقطعی از شبکهٔ بلوری‌را نشان می‌دهد. هر لکهٔ روشن به زنجیری از اتمها در شبکهٔ بلوری مربوط می‌شود. کدری نزدیك به مرکز در تصویر بالایی، از دست رفتن نظم بلوری در اثر وارد شدن یك یون بیسموت شتاب داده شده تا ۱۰۰ کیلو الکترون ولت را نشان می‌دهد. اگر چنین بمبارانی ادامه پیدا کند بی‌نظمی در سرتاسر لایهٔ سطحی کشت شده بلور پخش می‌شود و آن را به حالت بی‌شکل تبدیل می‌کند. تصویر پایین یك مرز واضح بین ناحیهٔ بی‌شکل ساختار بلوری مختل نشده در زیر آن را نشان می‌دهد. بافت سایه‌دار در سیلیسیم بی‌شکل یك اثر هنری از فرایند تصویری است و ارتباطی با ساختار اتمی لایه کشت شدهٔ یونی ندارد.

گوناگون به‌آن آسیب می‌رساند. اتمهای میزبان از مواضع خود کنده می‌شوند ویونهای کشت‌شده واتمهای کنده شده می‌توانند در بین صفحات‌اتمهای میزبان به‌صورت میان‌شبکه‌ای لانه کنند. امکان داردکه چنین نقایص شبکه‌ای انباشته شده وتعداد زیادی مکانهای خالی ویا انبوهی از میان شبکه‌ایها تشکیل دهند. تعداد زیادی از این نقایص‌می‌توانند دریك تك‌صفحهٔ اتمی دریك مجموعهٔ یکنواخت موسوم به‌حلقهٔ جابه‌جایی گردهم آیند. باآسیب‌رسانی مداوم، این حلقه‌ها ممکن‌است رشد یافته و به‌هم برسند تاشبکه‌ای از خطوط جابه‌جایی تشکیل شود.

این بی‌نظمی در شبکهٔ بلوری به‌آسیب‌رسانی جابه‌جایی یا آسیب‌رسانی تابشی معروف است. آسیب به‌جا مانده از مسیر یك تك‌یون‌را آبشاربرخوردی می‌نامند. در صورتی‌که هم یونها و هم اتمهای میزبان دارای عدد اتمی بزرگ وهسته‌های سنگین‌باشند، آسیب به‌سرعت زیاد می‌شود، برعکس اگر مادهٔ میزبان و یونها دارای هسته‌های سبکتر باشندآسیب آهسته‌تر جمع می‌شود. به‌عنوان یك قاعدهٔ کلی می‌توان گفت که به‌ازای هریونی که نفوذ کند یك‌اتم



شکل ۲. دستگاه کاشت یونی پرتوی از یونهای خالص، پر انرژی و متمرکز شده را ایجاد می کند. معمولا ماده‌ای که باید به یون تبدیل شود به صورت گاز از یك طرف دستگاه وارد محفظه می‌شود. (بالا). الکترونهای جوشان از یك رشته سیم داغ با اتمهای گاز برخورد کرده و آنها را یونیده می کنند، میدانهای الکتریکی و مغناطیسی دز برگیرندهٔ پلاسما بازدهی فرایند یونیده کردن را افزایش می‌دهند. میدان الکتریکی دیگری یونها را از محفظه بیرون می کشد. در انحنای دستگاه یك مغناطیس یونها را منحرف می کند. فقط یونهایی از یك نوع و یك انرژی دقیقاً ۹۰ درجه منحرف می‌شوند، بقیه مسیرهای نسبتاً متفاوتی که آنها را از پرتو جدا می‌سازد طی می کنند. سپس پرتو خالص شده و متمرکز تا انرژی زیاد، نوعاً بین ۱۰ تا ۵۰۰ کیلو الکترون ولت شتابدار می‌شود. درست قبل از برخورد یون با هدف (راست) یك میدان الکتریکی که به وسیلهٔ صفحات باردار ایجاد می‌گردد پرتو را طوری منعکس می‌سازد که ذرات خنثی شده را جدا سازد و پرتو را در امتداد هدف برای کاشت یکنواخت جارو نماید.

به‌ازای هرصفحهٔ اتمی جابه‌جا می‌شود. کاشت یونی‌لازم برای‌تغییر یك‌درصد ترکیب یك لایه، معمولاً هر اتم را در عمق کشت شده چندین مرتبه جابه‌جا می کند.

در چند مورد آسیب جابه‌جایی تغییرات مفیدی را در خواص الکتریکی ویا مکانیکی به‌وجود می‌آورد. اغلب آسیب‌رسانی‌تابشی و اثرهای آن دلخواه نیست. در نیم‌رساناها اتمهای خارجی بین صفحات اتمی به‌صورت میان شبکه‌ای متوقف‌می‌شوند ونمی‌توانند نقش خودرا به‌عنوان دهنده ویا گیرنده‌های الکترونی به‌خوبی ایفا نمایند، زیرا مکانهای خالی با جذب الکترونها یابارهای مثبت در فعالیت نیم‌رسانا مداخله می‌کنند. به منظور دستیابی به‌بهترین خواص لازم است که یونهای عنصرخارجی به‌درون شبکهٔ بلوری ملحق شده ومکانهای خالی حذف شوند.

بسیاری از نقایص نقطه‌ای متحرك بوده و در دمای معمولی عمری کوتاه دارند. میان‌شبکه‌ایها مکانهای خالی را پرکرده یا به‌سوی‌سطح مهاجرت می کنند. باوجوداین، مجموعه‌هاوحلقه‌های ناقص معمولاً پایدار هستند وبایستی‌آنهارا با بازپختن، گرم‌کردن ماده تا تجدید آرایش اتمها به سمت ساختاری‌که از نظر انرژی مساعدتر باشد دریك شبکهٔ بلوری منظم، خارج ساخت.

یك یا چند مرحله کاشت یونی، سپس بازپخت برای جای‌دادن اتمهای خارجی در درون شبکهٔ بلوری سیلیسیم، جزئی از روش ساختن‌مدارهای میکروالکترونیك شده‌است. اساس الکتریکی‌چنین ابزاری عبارت است ازاتصال بین نواحی نیم‌رساناکه ازنظرخواص الکتریکی باهم اختلاف دارند. یك‌ناحیه، اتمهای خارجی داردکه به سادگی الکترون آزاد می کنند و رسانایی الکتریکی را مساعد می‌سازند، فعالیت‌آن به‌هدایت نوع n، یامنفی، موسوم‌است. ناحیهٔ مجاور عنصر خارجی دیگری داردکه اتمهای‌آن به‌راحتی از مادهٔ میزبان الکترون دریافت کرده و در درون دریای الکترونی مادهٔ میزبان حفره‌های مثبت به‌جای می گذارند. این حفره‌ها متحرك‌اند وباعث‌رسانایی‌نوع p، یامثبت، می‌شوند. پیوندگاه نواحی‌فعالیت الکتریکی نوع p و n میدانی الکتریکی بـه وجود می‌آورد که برای عمل مواد نیم‌رسانا نقش‌اساسی دارد.

یونهای خارجی، توسط پرتوهـای یونـی تأمین می‌شوند. در سیلیسیم، معمولاً فسفر وارسنیك برای فعالیت نوع n وبور برای فعالیت نوع p به‌کارمی‌رود. قبل‌از هرنوبت‌کاشت یونی، سیلیسیم را با لایه‌ای ازیك مادهٔ محافظ‌که نسبت به‌نور یا الکترون حساس باشد می‌پوشانند. به‌منظور انتقال الگوی مدار به مادهٔ محافظ از لیتوگرافی پرتوالکترونی یا فوتولیتوگرافی استفاده می‌شود. مواد شیمیایی نواحی تابش گرفتـه را برهنه ساخته سبب محافظت بقیهٔ سطح درمقابل یونهای تابنده می‌شوند. پس‌ازکاشت یونی قطعه‌را به منظور بازپخت بین ۶۰۰ تـا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت می‌دهند.

بااین فرایندی‌که به‌خوبی جاافتاده است اکنون پژوهشگران‌در جستجوی‌آن تکنولوژی‌پرتویونی هستندکه درانواع جدید وسایل نیم‌رسانا بتوان ازآن استفاده‌کرد. مثلاً درساخت مدارهای‌مجتمع با مقیاس خیلی بزرگ (VLSI) ممکن است از مرحلهٔ محافظتی صرفنظرشود. طرح جزئیات مداربا‌خطوط ظریف‌که برای (VLSI) لازم است، تفکیکی نزدیك به حد تفکیك پرتوهای الکترونی و نور مرئی را ایجاب می کند. پرتوهـای یونی بـا تمرکز ظریفتر، تفکیك بسیاربیشتری را ایجاب‌می‌کنند، اصولاً پرتوهای یونی را می‌توان بدون مداخله مراحل محافظتی مستقیماً برای واردکردن اتمهای خارجی در الگوها در پهنایی‌کمتر از یك میکرومتر مورد استفاده قرارداد و فعالیت الکتریکی آنها را می‌توان تا ۱۰۰ اتم خارجی‌کنترل کرد.

تکنولوژی جدید دیگری، مربوط بـه نیـم رساناهای مرکب، به‌اعمال بازپخت پیچیده‌تری نیاز دارد. این نیم‌رساناها مدارهای سریعتری را نوید می‌دهند. آنها ازیك تك‌عنصر تشکیل نشده‌اند بلکه ترکیبی نظیر گالیم ارسنید می‌باشند که الکترونها وحفره‌های مثبت درآنها سریعتر حرکت می کنند. در درون ساختار بلوری دو یاچند عنصرمیزبان، زیرشبکه‌ها رابه‌هم متصل می کند وهراتم‌پس ازجابه‌جاییهای‌اتمی ناشی‌ازکاشت یونی بایستی به‌زیرشبکهٔ‌مربوط بـه‌خود برگردد. هرگاه یکی از عناصر نظیر ارسنیك فرار باشد، بازپخت ممکن‌است پیچیده‌ترشود. درخلال ادامـهٔ بازپخت ممکن است برخی از اتمها فرارکنند، در این صورت نسبتهای شیمیایی

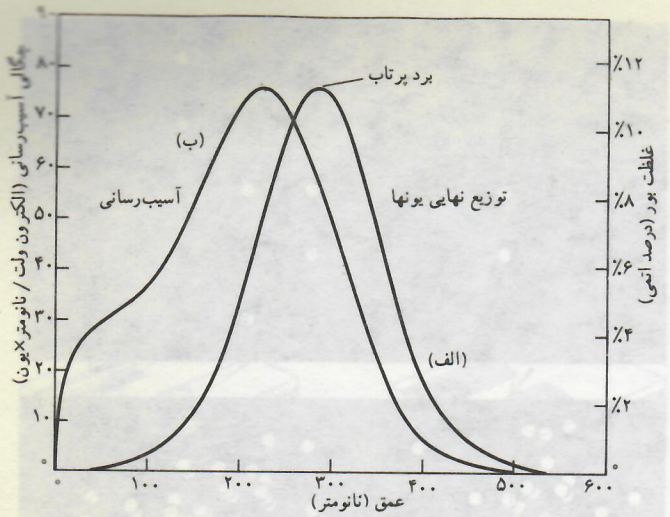
نیم‌رسانا بـه هم خورده، خواص الکتریکی آن تغییر خواهد کرد. شیوه‌های نویددهنده برای غلبه‌براین اشکال عبارت‌اند از استفاده‌از لایه‌های پوششی برای‌نگاهداری عنصر فرارتر، بازپخت سریع در دمای بالا با استفاده‌ازضربه‌های نوری و بازپخت دراتمسفری بافشار زیاد ازعنصر فرار.

نه‌تنها امکان استفاده ازپرتویونی در عمل‌آوردن یك نیم‌رسانا برای نوع‌خاصی‌ازفعالیت‌الکتریکی وجود داردبلکه احتمال کاربرد آن برای ایجاد یك‌محیط نیم‌رسانای جدید نیز درحال ظهور است. مثلاً بسیار کوچك‌سازی همراه باتوسعهٔ VLSI نیازاست تا فعالیت الکتریکی‌به‌لایه‌های بسیارنازکی‌ازنیم‌رسانامحدود شود ومزاحمت الکتریکی بین عناصر مجاور دریك‌مدار مجتمع به‌حداقل برسد. یك روش برای انجام‌دادن این‌امرایجاد مدارمحیطی موسوم‌به‌سیلیسیم روی عایق (SOI) است که در آن لایه‌ای از سیلیسیم، احتمالاً به‌ضخامت نیم‌میکرومتر روی یك سوبسترای عایق قرار می‌گیرد. درمقایسه‌باطرحهای‌مداری موجود، مدارهای SOI به‌توان کمتری نیازداشته، سریعترعمل‌کرده و نسبت به‌تابش حساسیت کمتری از خودنشان می‌دهند (خاصیتی که درکاربردهای فضایی ودفاعی حایز اهمیت است) این مدارها درمقایسه بامدارهای کوچك‌شدهٔ دیگردر مقابل نشت (فرایند تخریبی که طی‌آن جریان بین ترانزیستورهای مجاور جاری می‌شود) مقاومت بیشتری نشان می‌دهند.

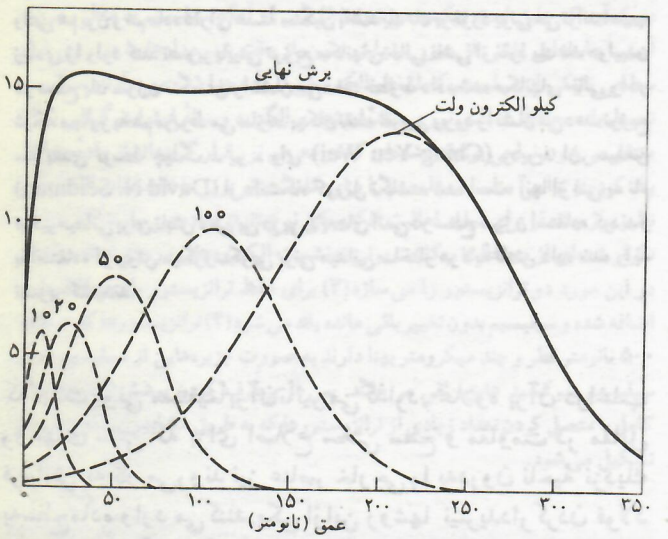
اشکال در رشد دادن لایه‌های تك‌بلور سیلیسیم کـه به‌قدر کافی نازك هستند برروی یك‌عایق، پذیرش تکنولوژی SOI را کندکرده است. کاشت‌یونی با تدبیری این اشکال را رفع می‌کند. هرگاه در شرایط مناسب‌یونهای اکسیژن دریك‌بلورسیلیسیم کشت داده‌شوند، می‌توان لایه‌ای ازسیلیسیم دیوکسید را به‌عنوان عایق ایجادکرد. تنظیم دقیق‌انرژی پرتویونی کشت‌دهنده و دمای سیلیسیم، تشکیل ناحیه‌ای نارسانا، نه درسطح بلورسیلیسیم بلکه نیم‌میکرومتر زیر آن را ممکن می‌سازد؛ سپس می‌توان درفیلم سیلیسیم حاصل که از نظر الکتریکی مجزا شده است اجزای میکرومدار را سوارکرد.

کاشت یونی در نیم رساناها منحصراً به منظور تغییر خواص الکتریکـی بـه‌کار می‌رود. تغییر در خواص مکانیکی و شیمیایی فلزات درآینده ازاهمیت ویژه‌ای برخوردارخواهد شد. همهٔ تغییرات ایجادشده باارزش می‌باشند، زیرا این‌تغییرات به‌زیان تغییردرابعاد یاخواص تودهٔ‌اصلی‌ایجاد نمی‌شوند وسطوح تغییریافته،ازمشکلات چسبندگی کـه اغلب بـه پوششهای سطح صدمه می‌زنند، لطمه نمی‌بینند.

یك‌سطح کشت‌شدهٔ یونی می‌تواند باافزایش سختی ومقاومتهای آن دربرابر فرسایش، اکسایش یاخوردگی، کاهش ضریب اصطکاك و اصلاح مجموعه‌ای از دیگر خواص نظیر رفتارهای مغناطیسی، ابررسانایی و نوری فلز را دگرگون سازد. بـا وجودی که غلظت عنصرخارجی درحدود چند قسمت درمیلیون فعالیت‌الکتریکی نوع p و n را درنیم‌رساناها به‌وجود می‌آورد، ولی ایجاد تغییرات‌عمده در خواص سطح یك فلز معمولاً به‌غلظتی از یونهای کشت شده تا چند درصد اتمی نیاز دارد. بنابـراین برای تغییر خواص در پهنهٔ مفیدی از سطح فلز لازم است زمـانهای تابش‌دهی طولانی باشد، یا شتاب‌دهنده‌ای که قادر به تولید شاریونی زیاد است در دسترس باشد.

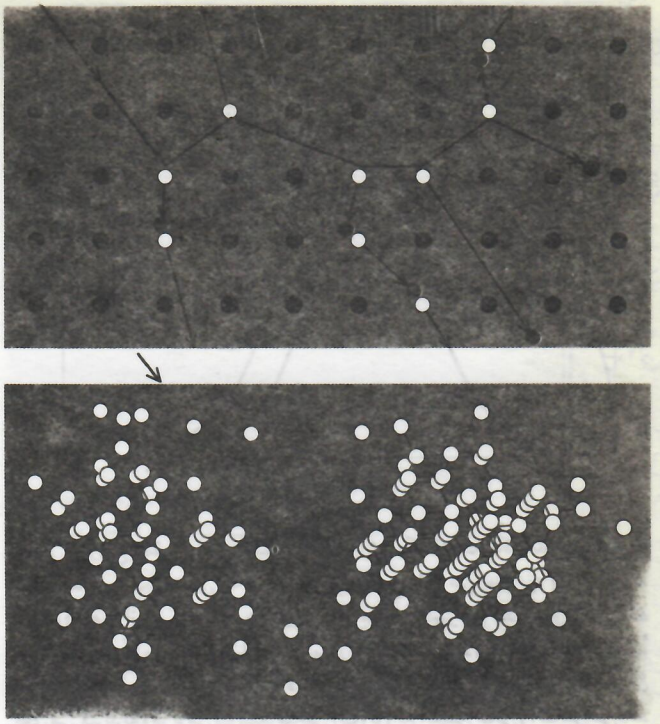


شکل ۳. توزیع عمقی یونهای کشت شده در انرژی یکسان یك شکل منحنی هنجار را دارد (منحنی الف). عمقی که در آن منحنی به اوج خود می‌رسد، برد پرتاب نامیده می‌شود که با انرژی پرتو و نوع یونها و مادهٔ میزبان تغییر می‌کند. برخوردهایی که یونهای فرودی را متوقف می‌سازند نیز اتمها را جابه‌جا می‌کنند و به ساختار بلوری مادهٔ میزبان آسیب می‌رسانند. برخوردها در عمقی کمتر از آنچه که یونها سرانجام در آن جای می‌گیرند به وقوع می‌پیوندند. منحنی (ب) توزیع آسیب‌رسانی را نمایش می‌دهد که برحسب الکترون ولت انرژی جذب شده به ازای هر یون فرودی ناشی از برخوردهای اتمی در هر نانومتر از ضخامت ماده بیان می‌گردد. منحنیها برای سیلیسیم کشت شده با ۱۰۱۵ یون بور به ازای یك سانتی‌متر مربع سطح داده شده‌اند، پرتو به کار رفته در فرایند کاشت دارای انرژی ۱۰۰ کیلوالکترون ولت است.



شکل ۴. غلظتهای یکنواختی از یونها در یك لایهٔ سطحی را می‌توان هم با تغییر انرژی پرتو کاشت و هم با تغییر تعداد یونهای تحویل شده در هر انرژی پرتو به دست آورد. هریك از منحنیهای نقطه‌چین نمایندهٔ توزیع عمقی یونهای نیتروژن کشت شده در آهن در یك پرتو تك‌انرژی می‌باشد. در کاشتهای پیاپی به ترتیب هم انرژی پرتو و هم تعداد یونهای کشت شده افزایش پیدا کردند. منحنی پر که نمایندهٔ مجموع برشهای غلظتی منفرد است نشان می‌دهد که کاشت مرحله‌ای به یك غلظت یکنواخت درست از زیر سطح تا عمق حدود ۲۰۰ نانومتر منجر می‌شود.

درمیان خواصی‌ازسطح که پرتوهای یونی باآنها مقابله می‌کنند فرسایش بیشترین توجه‌را به‌خود جلب کرده‌است. این توجه کاملاً منطقی‌است، زیرا بیشترفرایندهای مهمی که از فرسایش جلوگیری می‌کنند درخارجی‌ترین میکرومتر ماده انجـام می‌گیرند، ناحیه‌ای



شکل ۵. آسیب در ساختارهای بلوری مادهٔ میزبان چنانکه در تصویر بالایی نشان داده شده دو شکل اساسی را به خود می گیرد. اتمهای مادهٔ میزبان توسط هر یون پرانرژی بیرون رانده شده و محلهای خالی به وجود می آید (دایره‌ها) و اتمهای جابه‌جا شده و یونهای کشت شده اغلب بین لایه‌های اتمی بلور به صورت میان شبکه‌ای لانه می کنند. وقتی هم یون و هم ماده دارای هستهٔ سنگین باشند یك تك برخورد یونی می تواند آسیب زیادی را وارد کند. تصویر پایینی توزیع مکانهای خالی ناشی از نفوذ یك تك مولیبدن در سطح یك سوزن تنگستن را نشان می‌دهد؛ خطوط داده شده مکانهای خالی را در شبکهٔ مجاور به هم مربوط می سازند. پیکان نقطهٔ تقریبی ورود را نشان می‌دهد. توزیع سه بعدی توسط چینگ ـ یو ـ وای (Ching-Yeu Wei) ودیوید ان. سیدمن (David N. Seidman) از دانشگاه کورنل نگاشته شده است. آنها از فنی به نام تبخیر میدانی برای تابش دهی بی دربی لایه‌های اتمی در سطح سوزن استفاده کردند و با استفاده از روش میکروسکوپی یونی میدانی ساختار هر لایهٔ تابش داده شده را به تصویر کشیدند.

که کاشت یونی مستقیماً بر آن تأثیر می گذارد. علاوه بر آن در اغلب روشهای سنتی که برای اصلاح سختی سطح و مقاومت در مقابل فرسایش به کار می‌روند نیز عناصر خارجی را به‌درون ناحیهٔ نزدیك به‌سطح ماده وارد می کنند. یکی از این روشها نیتریددار کردن فولاد است که معمولاً برای آستر سطوح یاتاقانها، قطعات سوپاپ وسیلندر درموتورها وقطعات دیگری که استفاده از آنها به‌سطوح سخت نیاز دارد، مورد استفاده قرار می گیرد. در نیتریددار کردن، قطعهٔ مورد نظر را در اتمسفر غنی از نیتروژن معمولاً به‌شکل آمونیاك تا حدود ۵۰۰°C گرم می کنند. نیتروژن به‌درون سطح نفوذ کرده ودر جایی که با آهن ترکیب می‌شود رسوب نیتریدی (بلورهای کوچکی از ترکیبات نیتریدی در درون ساختار بلورین فولاد) تشکیل می گردند.

جفری درنالی[1] وهمکارانش در هارول[2] انگلستان پیشگام وارد کردن نیتروژن به‌وسیلهٔ پرتوهای یونی به‌جای نفوذ می‌باشند. گروههای دیگری در جاهای دیگر کار آنها را توسعه داده‌اند. یونهای نیتروژن را می‌توان به‌راحتی و به‌مقدار زیاد بایك شتاب‌دهندهٔ یونی تهیه کرد. زیرا نیتروژن، گازی قابل دسترس است و به‌سادگی یونیده می‌شود. در نتیجه با زمانهای کاشت یونی معقول، ۲۰ تا ۴۰ درصد اتمی نیتروژن که برای پیرایش سختی سطح ومقاومت درمقابل فرسایش مورد نیاز است ایجاد می‌شود. یونهای نیتروژن کشت شده یا به‌طور منفرد در شبکهٔ بلوری جای داده می‌شوند که در این صورت گفته می‌شود دریك محلول جامد قراردارند ویا به‌شکل ترکیبات نیتریدی درآمده وبه‌صورت رسوبات ظریفی پاشیده می‌شوند.

آزمایشهایی که درآنها یك قرص فولادی کشت شده در زیر یك میلهٔ فولادی، با باری قابل تنظیم، درتماس باسطح می‌چرخد نشان می‌دهند که درمقایسه بافولاد کشت نشده، فرسایش باضریبی به‌بزرگی ۱۰ مرتبه کم می‌شود. باوجوداین، میزان پیرایش باترکیب عنصری فولاد، گرمای کاشت اولیه و ساختار بلورین آن تغییر می کند. فولادهای یاتاقانی خیلی سخت اصولاً پیراسته نمی‌شوند. به‌علاوه در برخی از فولادها تلفیق نیتریددار کردن و کاشت یونی می‌تواند پیرایش بهتری انجام دهد.

مقاومت در مقابل فرسایش در مقیاس اتمی هنوز کاملاً روشن نشده‌است. باوارد شدن اتمهای خارجی درشبکهٔ بلوری نظم ساختاری بلور فولاد ازهم می گسلد. این گسیختگی ممکن است سختی فولاد راافزایش دهد. این امر به کمك مقاومت در برابر جریان جابه‌جاشدن، که طی آن لایه‌های اتمی مجزا اتم به‌اتم ازروی یکدیگر لیز می‌خورند امکان پذیر است. مع‌هذا، سرعت فرسایش نه‌تنها سختی یك سطح، بلکه مکانیسمهای ویژهٔ فرسایش مانند چسبندگی و سایش را نیز منعکس می‌سازد.

اعتقاد براین است که کاشت نیتروژن در فلزات دیگر مکانیسم غالب فرسایش را تغییر می‌دهد. کاشت نیتروژن فرسایش لایه‌های کروم‌را تا ۱۰۰ مرتبه کم می کند. احتمالاً کاشت نیتروژن، باعث انبساط لایه‌های کروم می‌شود؛ درنتیجه ترکها را که گمان می‌رود نقاط ضعف برای فرسایش باشند می‌بندد. پیرایشهای برجسته در ماده‌ای موسوم به Ti-6Al-4V انجام گرفته است؛ این ماده آلیاژی است از آلومینیم که در ساختمان سفینه‌های فضایی مورد استفاده قرارمی گیرد ودارای ۶ درصد آلومینیم و ۴ درصد وانادیم می‌باشد. آزمایش نشان می‌دهد که سطوح کاشت شده با نیتروژن و روغن نخورده در مقایسه با سطوح کاشت نشده، ۱۰۰۰ مرتبه کندتر فرسوده می‌شوند؛ اصطکاك نیز تا یك‌سوم میزان معمولی آن کاهش می‌یابد. کاشت نیتروژن تشکیل لایه‌ای از اکسید سطحی را توسعه می‌دهد که به نظر می‌رسد به صورت یك روان‌کننده عمل می کند. روان کردن باعث کند شدن فعالیت عوامل ایجاد کننده اصطکاك هنگام بهم ساییدن دو سطح می گردد.

موارد دیگری ازافزایش مقاومت در مقابل فرسایش، تغییر در فاز ماده را منعکس می‌سازند. هنگامی که پژوهشگران فولادضدزنگ را با پرتویونهای کربن و تیتانیم به‌منظور ایجاد آلیاژی درسطح، حاوی ۲۰ درصد از هر یك از عناصر کشت دادند، ناحیهٔ سطحی فولاد نظم بلوری خود را از دست داد و به‌یك حالت بی‌شکل و یا شیشه‌ای درآمد (فازی از فولاد که به‌طرق دیگر تشکیل نمی گردد)، کاهشی درحدود ۵۰ درصد در ضریب اصطکاك فولاد حاصل

1. Geoffrey Dearnaley 2. Harwell

گردید وسرعت فرسایش آن تا ۱۰ مرتبه کاهش یافت.

این فرایندها و دیگر فرایندهای کاشت، مسبب کاهش اصطکاک و فرسایش درفلزات، ازهم اکنون توجه محافل تجاری را به‌خودجلب کرده‌است. به‌منظور افزایش طول‌عمر اجزای حساس نظیریاتاقانها در موتورهای جت و ژیروسکوپها و برای ساختن ابزارهای دقیق مورد استفاده درفرایندهای صنعتی که درآنها، یك‌قطعه و یا توقف تولید برای تعویض آن پرهزینه‌است، کاشت یونی مورد نظر قرار می‌گیرد. پژوهشگران دریافته‌اند با کاشت یونهای نیتروژن عمر ابزار فلزی که ازفولاد وکبالت خمیرشده در تنگستن کاربید ساخته شده است دو تا پنج برابر افزایش می‌یابد. حدیده‌های دقیق برای پلاستیکها بافرسایش سایشی ناشی از الیاف و ذرات معدنی‌ای که به‌عنوان پرکنندهٔ پلاستیك به‌کار می‌رود مواجه‌اند. این حدیده‌ها حتی به طور نمایانتری در مقابل کاشت یونی عکس‌العمل نشان می‌دهند، به‌طوری که دوام آنها ده‌برابرزیاد می‌شود.

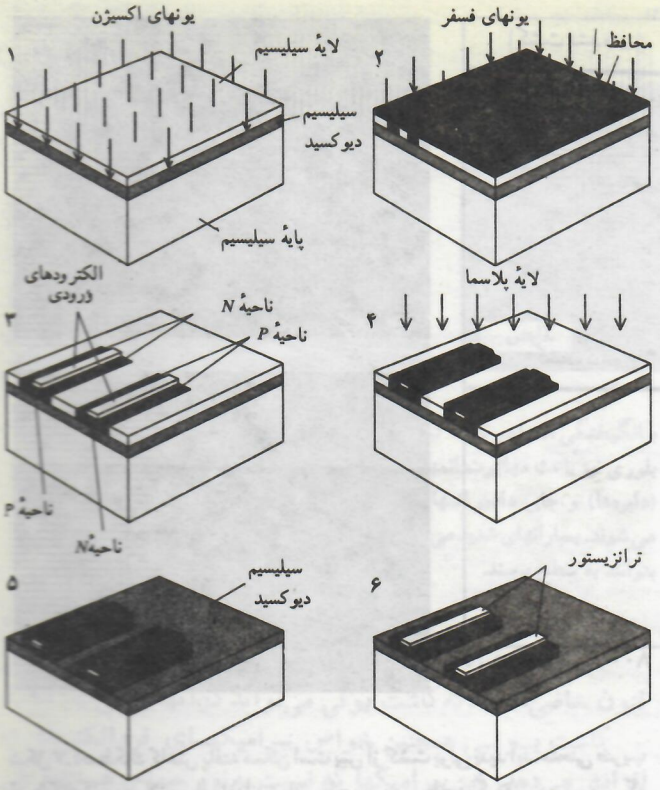
اعضای مصنوعی مفصل‌ران که ازآلیاژ پلاتینیم ساخته‌شده‌است وطول‌عمر برای آن بسیار مهم می‌باشد نیز ممکن است ازکاشت بهره گیرند. درمحیطی‌ازسیالات بدن، حرکت مفصل فلزی درحفرهٔ پلی‌اتیلنی ممکن است مفصل را به شدت ساییده کند. پژوهشگران دریافته‌اندکه کاشت نیتروژن می‌تواند فرسایش آلیاژرا درتماس با پلی‌اتیلن تا ۱۰۰۰ مرتبه کاهش دهد.

قطعاتی که به‌علت نقش آنها درمعرض فرسایش‌اند اغلب درمقابل خورندگی نیز قرار می‌گیرند. مثلاً قالبهای ساخت پلاستیك هم ساییده می‌شوند وهم درمقابل پسمانهای شیمیایی قرار می‌گیرند و ساییدگی اعضای مصنوعی ران به اندازهٔ فرسایش، از خورندگی توسط سیالات‌بدن ناشی می‌شود. متخصصان‌الکتروشیمی دریافته‌اند که کاشت یونی می‌تواند یك ماده را هم در مقابل فرسایش، هم در مقابل خورندگی محافظت نماید. هرگاه 5×10^{16} اتم پلاتینیم درسانتی‌مترمربع فولاد ضدزنگ کشت شود یك‌لایهٔ سطحی از آلیاژ تشکیل می‌شودکه می‌تواندفولادرا ازاثرمحلول ۲۰ درصدسولفوریك اسید در مدت ۸۰ روزی که درآن غوطه‌ور بوده است حفظ نماید. هرچند پلاتین فلزی گرانبهاست ولی لایهٔ کشت شده به‌قدری نازك است که ارزش پلاتین کشت شده درهرسانتی‌متر مربع فقط چندصدم یك سنت تمام می‌شود.

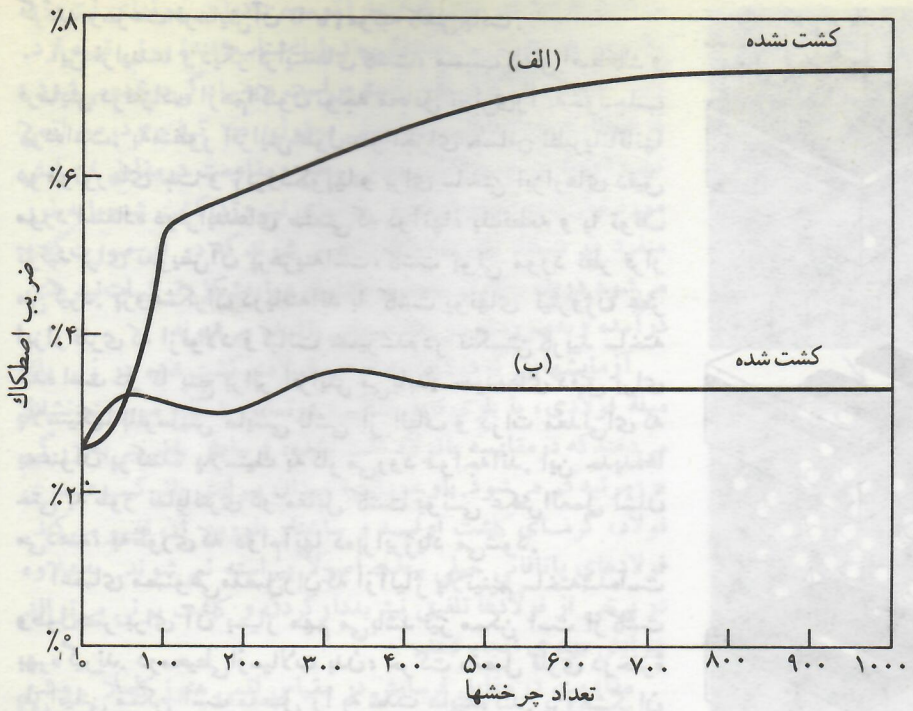
به‌نظرمی‌رسدکه اصلاح سطح فلزات باکاشت یونی، هم به‌شکل معمولی‌آن و هم به صورت فن اصلاح شده‌ای موسوم به مخلوط پرتویونی، درآستانهٔ تجارتی شدن گسترده‌ای قرار دارد. در روش استفاده از مخلوط پرتویون، فیلمی از ماده به‌صورت بخار نشانده می‌شود، به‌طور همزمان یاپس‌ازآن سطح درمعرض پرتوی ازیونها قرار می‌گیرد. آبشاری از برخوردها مادهٔ ته‌نشسته را با میزبان مخلوط می‌کند. تعدادکمی یون کافی‌است که مرزبین فیلم‌وسوبسترا را درهم شکند و پوشش را به‌طور محکم به‌آن متصل کند؛ تعداد بیشتر یونها باعث مخلوط شدن کامل اعضای تشکیل دهنده شده و یك‌آلیاژ به‌وجود می‌آورند. چون در این فرایند، نسبت به‌کاشت یونی معمولی، برای تشکیل لایه‌هایی از آلیاژ به تعداد کمتری یون نیاز است، بنابراین از نظر اقتصادی بیشتر مقرون به صرفه می‌باشد.

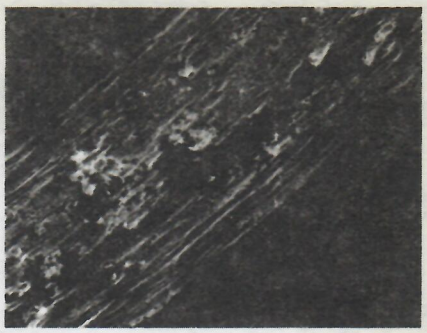
گرچه اصلاح سطح فلزات توسط پرتویونی در سطح تجارتی تازه‌آغاز شده‌است، اماقبلاً ارزش خودرا به‌عنوان ابزاری برای پژوهش‌نشان داده‌است. پرتوهای یونی‌را می‌توان برای شبیه‌سازی نقشهای شیمیایی و فیزیکی که مشاهدهٔ آزمایشگاهی عکس‌العمل فلزات را ممکن می‌سازد، به‌کاربرد. در مطالعاتی برروی مکانیسم خورندگی، پژوهشگران از این فن برای واردکردن گونه‌های منفرد یون در سطوح فلزات، به‌مقدارکنترل شده و به‌منظور تعیین نقش هریك‌ازگونه‌های شیمیایی در خورندگی، استفاده می‌کنند.

پرتوهای یونی همچنین به منظور شبیه‌سازی تابش و بمباران شدید نوترونی که درواکنشگاههای زاینده ایجاد شده است به‌کار می‌روند. در سالهای ۱۹۷۰ پژوهشگران دریافتند که نوترونها باعث می‌شوند در فلزات به‌کار رفته در هستهٔ مرکزی واکنشگاه



شکل ۶. مدار سیلیسیم روی عایق با به کار بردن پرتوهای یونی در یك فرایند اکتشافی ساخته می‌شود. در اولین مرحله بلور سیلیسیم با پرتوی از یونهای اکسیژن بمباران می‌شود، یونها در زیر سطح متوقف شده و با سیلیسیم برای تشکیل لایه‌ای از سیلیسیم دیوکسید که عایق است ترکیب می‌شوند(۱). پس از آنکه سیلیسیم به منظور مرمت آسیب جابه‌جایی ناشی از عبور یونها در بلور باز پخت شد، مدارها را در روی فیلم سطحی نازکی از سیلیسیم که از نظر الکتریکی از پایه جدا شده می‌سازند. سیلیسیم توسط یك محافظ حساس نوری پوشیده شده و الگو به وسیلهٔ فوتولیتوگرافی به آن منتقل می‌شود. نواحی پوشانده شده‌ای که در معرض نور قرار گرفته‌اند از مادهٔ محافظ پاك کرده و نواحی مناسب سیلیسیم را برای کاشت پرتو یونی ناخالصیهای الکتریکی نظیر بور و فسفر برای تولید فعالیت الکتریکی نوع p، n آماده می‌سازند(۲). مراحل تکرار شده‌ای از محافظت و کاشت یونی ته‌نشست الکترودهای ورودی عناصر مدار، در این مورد دو ترانزیستور را می‌سازد(۳) برای حفظ ترانزیستور یك محافظ جدید اضافه شده و سیلیسیم بدون تغییر باقی مانده پاك می‌شود(۴) ترانزیستورها که هرکدام ۵۰۰ نانومتر قطر و چند میکرومتر پهنا دارند به صورت جزیره‌هایی از سیلیسیم روی سیلیسیم دیوکسید عایق باقی می‌مانند. پس از برطرف کردن پوشش(۶) یك مدار کامل با متصل کردن تعداد زیادی از ترانزیستورها که به طریق مشابهی ساخته شده‌اند تشکیل می‌شود.





شکل ۷. اصطکاک کاهش یافته ممکن است پس از کشت یونی پدید آید. منحنی ضریب اصطکاک (نیروی لازم برای لغزاندن یک سطح بر روی سطح دیگر تقسیم بر نیرویی که دو سطح را به هم فشار می‌دهد) برای دو ورقه فولاد ضد زنگ را نشان می‌دهد که در زیر میله‌ای از فولاد ضد زنگ، بدون روغنکاری چرخیده‌اند. مطالعه توسط دیوید م. فالستد (David M. Follsteadt) لاری پوپ (Larry E. Pope) و همکارانشان در آزمایشگاه ملی ساندیا انجام شده است. کاشت یونی روی یکی از صفحات (منحنی الف) انجام نشده است، دیگری (منحنی ب) با یونهای کربن و تیتان بمباران شده و سطح فولاد را از یک ترتیب بلوری به حالت بی‌شکل یا شیشه‌ای تبدیل کرده است. پس از حدود ۱۰۰ چرخش ضریب اصطکاک سطح کشت شده حداقل در نصف مقدار سطح کشت نشده ثابت باقی می‌ماند. کاهش اصطکاک فرسایش در فولاد کشت شده را کند کرده است. سطح کشت شده که توسط میکروگراف الکترونی پویشی ۵۰۰ مرتبه بزرگ شده است (تصویر پایین) پس از ۱۰۰۰ چرخش، برخلاف سطح فولاد کشت نشده، در یک میکروگراف الکترونی مشابه (تصویر بالا) صاف به نظر می‌رسد.

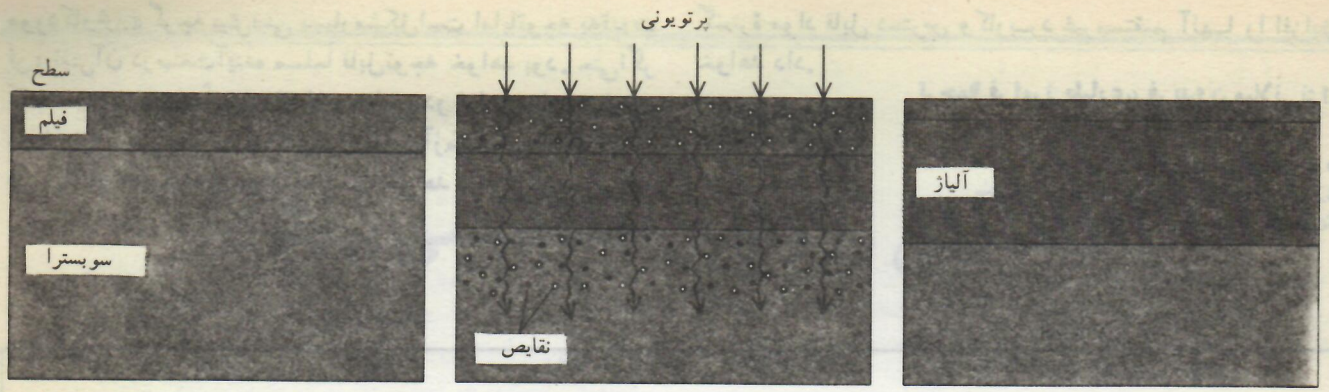
زاینده آزمایشی، تورم ایجاد شود و حجم چنددرصد افزایش یابد و با تحملهای مکانیکی تداخل ایجاد شود. مشاهده شده است که نوترونها آبشاری متراکم به جای می‌گذارند. در دماهایی که واکنشگاه کار می‌کند، جایگاههای تهی انباشته شده و حفره‌های کوچکی درسراسرفلز تشکیل می‌دهند. جستجوی آلیاژهای مقاوم درمقابل‌چنین تورمی، به‌وسیله‌ای برای‌آزمون آنها درآزمایشگاه نیازدارد. بمباران یونی باتوانایی بیشترازخود نوترونها، درایجاد این‌نوع‌آسیب‌رسانی، برای این‌منظور بسیار مناسب بوده است.

به‌طور مشابهی پرتوهای یونی به ارزیابی مواد جداره داخلی وسایل‌دربردارندهٔ‌پلاسمای مورداستفاده درمطالعهٔ همجوشی‌هسته‌ای کمک کرده‌است. قرار گرفتن درمعرض پلاسمای هیدروژن داغ‌باعث خورندگی بسیاری ازفلزات می‌شود. یونهای پرانرژی دربرخورد باسطح، برای کندن کامل‌اتمها تکانهٔ کافی را به‌آنها منتقل‌می‌سازند. این فرایند که بیرون اندازی نامیده می‌شود، می‌تواند باعث عقب‌نشینی دیوارهٔ ظرف شده و پلاسمارا آلوده کند. با پرتوهای یونی، روشی برای ایجاد مجدد این فرایند درآزمایشگاه می‌توان پیش گرفت تا تشخیص‌آلیاژهای مقاوم امکان‌پذیرشود.

کاشت‌یونی، به‌علت توانایی‌آن درانتشارتقریباً هرغلظتی ازیک ماده در سطح، ثابت کرده است که در مطالعهٔ برهم‌کنش مواد در آلیاژها، وسیلهٔ بسیارپرقدرتی‌است، مثلاً اندازه‌گیری دقیق‌سرعت انتشار عناصر خارجی در درون فلز معمولاً فقط در دماهای بالا می‌تواند انجام شود. مع‌هذا، کاشت یونی به‌خاطرکنترل دقیقی که برعمق توقف یونی دارد می‌تواند غلظتها و گرادیانهای غلظتی بیشتری درمقایسه باروشهای متداول آلیاژسازی تولید نماید. در نتیجه، انتشارقابل اندازه‌گیری، تغییراتی آشکار در توزیع عمقی اتمهای کشت شده در دماهای نزدیک به‌دماهایی که فلز معمولاً با آن مواجه‌است رخ می‌دهد.

روش اندازه‌گیری براین حقیقت استواراست که برای هرانرژی کاشت، توزیع عمقی اتمهای‌کشت شده را می‌توان با دقت زیاد اندازه‌گیری کرد؛ اولین مرحله، کشت یونهای خارجی است. برش عمقی اتمهای‌کشت شده بعداً به‌وسیلهٔ فنی موسوم به‌پراکندگی اشعهٔ یونی اندازه‌گیری می‌شود. پرتوی ازیونهای هلیم پرانرژی برفلزمی‌تابد. کسرکوچکی ازیونها باهسته برخوردکرده وباانرژی که مشخصهٔ جرم هسته‌ای است‌که برخورد با آن صورت گرفته، منعکس می‌شود. چون یونهای هلیم درگذر از درون فلز باسرعت مشخصی انرژی خودرا ازدست می‌دهند، عمق برخورد رامی‌توان تعیین کرد. برشهای عمقی از تعداد یونهای پراکنده شده و انرژی آنها ساخته می‌شود.

فلز سپس تا دمای معینی به‌مدت از پیش تعیین شده‌ای حرارت داده می‌شود. پس ازسرد شدن باردیگر تحت تابش پرتویونی قرار می‌گیرد. پخش ناشی از گرم‌کردن در پهن‌شدگی منحنی توزیع منعکس خواهد شد. میزان پهن‌شدگی، زمان و دمایی‌که پخش در



شکل ۸. مخلوط کردن پرتویونی تعداد یونهای لازم برای تشکیل لایه سطحی از آلیاژ را کاهش داده و بنابراین هزینه‌ها را کم می‌کند. ماده‌ای که باید با فلز میزبان آلیاژ شود به روشهای متداول، اغلب از طریق ته‌نشست غبار به صورت فیلم روی سطح قرار داده می‌شود (تصویر چپ) یونهای سرعت یافته نظیر نیتروژن انرژی لازم برای مخلوط کردن مواد را فراهم می‌سازند (تصویر وسط). مخلوط شدن وقتی رخ می‌دهد که یونهای وارد شده با اتمهای فیلم و ماده برخورد کرده و آنها را جابه‌جا کنند. برانگیختگی اتمها در ناحیهٔ کشت شده و نقایص به جای مانده ناشی از بمباران ساختار بلوری نیز باعث مهاجرت اتمها می‌شود. اتمها برای پر کردن مکانهای خالی در شبکه (دایره‌ها) و جای دادن اتمهای جابه‌جا شده (نقطه‌ها) در ساختار بلوری، جابه‌جا می‌شوند. بمبارانهای شدید می‌تواند ناحیهٔ مخلوط شده را ضخیم کند (تصویر راست) تا بتوانند به سطح برسند.

آن صورت گرفته، سرعت پخش‌را در مقایسه باروشهای دیگر با صحت بهتری می‌دهد.

حساسیت‌فوق‌العادهٔ این‌فن، اندازه‌گیری فرایندهای پخش‌طولانی درمحدودهٔ زمانی منطقی را امکان‌پذیر می‌سازد. شکنندگی حاصل از گرم و سرد شدن، معرف این‌گونه فرایندهاست. این تغییر در دماهای متوسط در قطعات فولادی، هنگام انباشته شدن عناصر ناخواسته‌ای نظیر آنتیموان، قلع، فسفر در بین دانه‌های بلوری مشخص فلز، رخ می‌دهد و بنابراین آن را ضعیف می‌کند. کاشت یونی‌مشاهدهٔ‌مهاجرت و به‌دام‌افتادن عناصرخارجی‌را، درآزمایشگاه ودر دماهای کاربرد فلز، ممکن می‌سازد.

ساموئل م. مایر[1] وهمکارانش درساندیا نشان داده‌اندکه کاشت یونی می‌تواند به‌مطالعهٔ یك پدیدهٔ دیگر درفلزشناسی یعنی‌حلالیت جامد، کمك نماید. این‌فن پژوهشگران را قادرمی‌سازدکه در دمای پایین، تعداد دقیقی ازاتمهای حل‌شونده را وارد فلزنمایند. وقتی که‌غلظت عناصر خارجی از حدود حلالیت آنها فراتر باشد، اتمها دیگر نمی‌توانند درمحدودهٔ شبکهٔ بلوری فلزمیزبان جمع شوند و شروع به‌تشکیل رسوب می‌نمایند. تعیین عمق برش اتمهای کشت شده به‌وسیلهٔ‌پخش یونی‌همراه باتعیین رسوب‌ازطریق میکروسکوپ الکترونی اندازه‌گیری حلالیت ماده کشت شده در دماهای نسبتاً پایین‌را ممکن می‌سازد. چنین اطلاعاتی در ساخت آلیاژهای جدید بسیار با ارزش است، زیرا عنصری که برای آلیاژسازی به‌کار می‌رود بسته به‌آنکه به‌صورت محلول ویا رسوب بافلزترکیب‌شود می‌تواند اثرهای متفاوتی برخواص‌آلیاژ داشته باشد.

باپیدایش فنون جدید ونیازآنها به‌مواد جدید و تکیه براصلاح مواد قدیمی کاربردهای جدیدی برای کاشت یونی به‌وجود خواهد آمد. درحال حاضرکاشت یونی‌برای پرداخت سطوح موادنارسانا، نظیر شیشه، سرامیك و بسپارهاست. ساخت لوله‌های موجبر، حافظه‌های حبابی مغناطیسی، سرامیکهای فرومغناطیسی از جمله فنون خاصی‌هستندکه کاشت یونی می‌تواند درآنها نقشی‌ایفاکند.

کاشت یونی همچنین خواص سرامیکهای فروالکتریك را افزایش می‌دهد. این سرامیکها که نسبت به‌نور حساس هستند وقتی به‌طور همزمان در معرض نور شدید فرابنفش و میدان الکتریکی قرارگیرند، تصاویر را ثبت می‌کنند. آسیب‌رسانی تابشی و تغییر شیمیایی ناشی‌ازبمباران بایونهای آلومینیم وآرگون باعث تغییر دررفتار الکتریکی شده و درنتیجه بیش از ده‌هزار مرتبه حساسیت نوری‌را افزایش می‌دهد. این‌عمل باعث‌جابه‌جایی حساسیت‌به‌ناحیهٔ مرئی طیف می‌شود. سرامیکهای کشت شده می‌توانند تصویر رادر نورخورشید ویا نورسفید در زمان تابش‌دهی مناسب ثبت نمایند. درسرامیکهای دیگر، کاشت یونی خواص‌مکانیکی‌را تغییر می‌دهد. موادی نظیرآلومین، تیتانیم دی‌برمید باهمهٔ سختی، بسیار شکننده هستند واین کیفیت، استفاده ازآنهارامحدودکرده است. پژوهشگران نشان داده‌اندکه کاشت بعضی ازیونها باعث استحکام نواحی‌سطحی این سرامیکها می‌شود.

شاید جدیدترین تازه وارد درفهرست موادی‌که کاشت یونی در آنها مورد بررسی قرارگرفته بسپارها باشند. بسیاری از بسپارها نارسانا هستند، اما وقتی کشت شوند، قابلیت‌رسانایی‌آنها می‌تواند تا ۱۴ مرتبه درسطحی قابل‌قیاس باگرافیت افزایش یابد. تصور می‌شود که افزایش قابلیت رسانایی نشانه‌ای ازتغییرساختارمولکولی‌بسپار وافزایش زیادی درمیزان کربن‌آن‌باشدکه دراثرشکست پیوندکربن باهیدروژن ویاکربن باعناصر فرار دیگروآزاد شدن عنصرفرار رخ می‌دهد. بسپارهای مختلفی می‌توانند از طریق کاشت یونی رسانا شوند. این فن می‌تواند استفاده از بسپارها را به جای اتصالات الکتریکی در مدارهای میکروالکترونی ممکن سازد. بسپاری که دراثرکاشت رسانا شده است می‌تواند جانشین سپرهای فلزی برای حفظ دستگاههای‌حساس‌از مزاحمتهای الکترومغناطیسی‌شود.

هنوز زود است که بگوییم کاربردهای بسیار جدیدکاشت یونی به‌باروری اقتصادی خواهدرسید. یك‌متخصص علم مصالح ومواد دربارهٔ فن پرتویونی چنین اظهارنظرمی‌کند: «راه‌حلی برای‌مسائل

1. Samuel M . Myer

موردکاوش.» گرچه پیش‌بینی بسیارمشکل‌است اماباتوجه به‌قدرت فن، نقش‌آن درصنعت‌آینده مسلماً قابل‌توجه خواهد بود. حتی‌اگر کاشت یونی مستقیماً برای اصلاح سطوح در فرایندهای تولیدی به‌کار نرود،همراه بامطالعات‌پرتویونی درآزمایشگاه که‌اطلاعاتی در بارهٔ خواص بنیادی مواد به دست خواهد داد، کشت یونی‌نیز گسترهٔ مواد قابل دسترس و کاربرد غیرمستقیم آنها را افزایش خواهد داد.

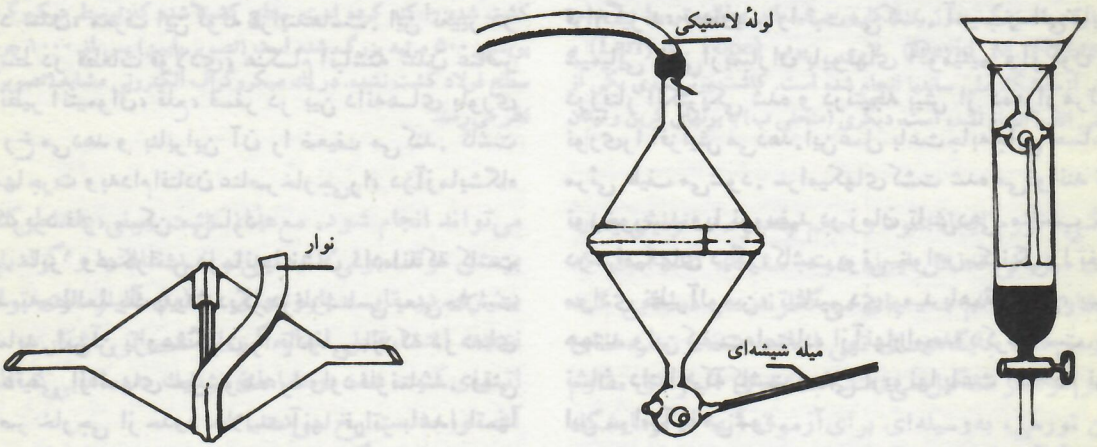
ترجمهٔ فرامرز طیاری، فریدون میلانی‌نژاد

• Ion Implantation of Surfaces
S. Thomas Picraux & Paul S. Peercy
Scientific American, March 1985.

قیفی برای کنترل جریان مایع در یك ستون کروماتوگرافی

افزودن مایع به‌یك ستون‌کروماتوگرافی ممکن‌است باعث اغتشاش وپهن‌شدن نوارها شود. به‌نظرمی‌رسدکه ستونهای باقطرزیاد، بیشترازستونهای باریك تحت تأثیرواقع شوند. درکتابهای درسی آزمایشگاه آلی پیشنهاد می‌شودکه مادهٔ پرکنندهٔ ستون‌را باماسه یاکاغذ صافی بپوشانند تاازاغتشاش جلوگیری شود.

اصلاح قیفی‌که توسط‌آن حلال افزوده می‌شود نیزمی‌تواند ازاغتشاش بکاهد. اصلاح قیف به‌این منظور است‌که جریان حلال به‌سمت دیواره‌های ستون‌کروماتوگرافی هدایت شود. قیف اصلاح‌شده دارای سه یا چهار سوراخ ریزدر اطراف حباب شیشه‌ای‌کوچکی است‌که در قسمت پایین خروجی قیف قرار دارد. قیف موجود را می‌توان با یك مشعل دستی شیشه‌گری به‌صورت زیراصلاح‌کرد:



۱. دهانه دوقیف همانند را روی یکدیگر قرار دهید و شکاف بین‌آنهارا بانوار بپوشانید. (بالا سمت چپ)

۲. یك لولهٔ لاستیکی به‌انتهای یکی ازقیفها وصل‌کنید.

۳. انتهای قیف دیگر را با حرارت مسدودکنید و با دمیدن درآن حبابی‌که دوبرابر قطر خارجی ساقهٔ قیف باشد درست‌کنید.

۴. بایك شعله تیز وجهت‌دار، نقطهٔ‌کوچکی را در روی حباب حرارت دهید. یك میلهٔ شیشه‌ای را بااین قسمت گرمادیده تماس دهید وشیشه را بیرون بکشید تا به‌شکل نوك‌تیز درآید (شکل وسط را ببینید).

۵. پس‌ازبیرون‌کشیدن سه یا چهار نقطه ازحباب، به‌آهستگی انتهای‌آنها را بازکنید و با حرارت دادن پرداخت نمایید. دقت شودکه سوراخها مجدداً مسدود نشود.

۶. پس‌ازسردکردن قیف،آب بیفزایید. سرعت جریان‌وعمل‌آن‌را ارزیابی‌کنید وبرحسب نیازآن‌را اصلاح‌نمایید. (بالا سمت راست)

ترجمهٔ س. و .

• *Journal of Chemical Education*, March 1988