

Chemical Etching of CdTe and CdSe

Single Crystals

Tajabor N., Mahmoodi T.

Ferdowsi University of Mashhad , Faculty of Sciences, Mashhad - IRAN.

Key Words: *Crystal Growth, Chemical Etching, Polarity Determination.*

Abstract: Single crystals of CdTe and CdSe have been grown by vapor phase deposition . Crystals grown in the form of platelets were studied by X-ray diffraction Laue method . It was found that the faces of CdTe with zincblende structure are of {111} type and those of CdSe with wurtzite structure are of {1120} or {1010} types. Platelets of CdTe have one smooth face and one rough face which can be distinguished even with bear eyes. Chemical etching of CdTe revealed that the smooth face is composed of Cd atoms and the other face of Te atoms. However, chemical etching of CdSe did not show any polarity because both types of crystalline planes {1120} and {1010} are composed of both atoms. The chemical solution of HCl, Mt, Br₂ (2:3:0.3) was found to act as a suitable chemical polish for CdSe single crystals.

پژوهشی

سونش شیمیایی تک بلورهای CdSe و CdTe

ناصر تجبر، طاهره محمودی
دانشکده علوم - دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده: در این پژوهش تک بلورهای CdSe و CdTe، از فاز بخار رشد داده شد و دو سطح موازی بلورهای صفحه‌ای رشد یافته، با استفاده از پراش پرتو X و روش لایه مورد مطالعه قرار گرفت. این سطوح در CdTe با ساختار بلاند روی از نوع صفحات {۱۱۱} و در CdSe با ساختار شش گوشه‌ای وورسیت از نوع {۱۱۲۰} و {۱۰۱۰} شناسایی شدند. در CdTe یکی از دو سطح گسترده بلور صاف و سطح موازی با آن ناصاف رشد می‌کند، که حتی با چشم غیر مسلح قابل تشخیص‌اند. سونش شیمیایی بلورهای CdTe نشان داد که سطح صاف بلور از اتمهای Cd و سطح ناصاف آن از اتمهای Te تشکیل شده است. اثر سونشگرهای شیمیایی متفاوت بر اتمهای CdSe مطالعه شد. صفحات {۱۱۲۰} و {۱۰۱۰} در این بلورها از هر دو نوع اتم تشکیل می‌شوند و فاقد قطبیت‌اند، بنابراین تأثیر سونشگرهای شیمیایی بر صفحات خوش رشد یافته آنها یکسان است. محلولی با ترکیب:



به عنوان یک پرداختگر مناسب برای بلورهای CdSe معرفی می‌کنیم.

واژه‌های کلیدی: رشد بلور، سونش شیمیایی، تعیین قطبیت.

مقدمه

یک بلور واقعی در اولین نگاه به خاطر نوسانات گرمایی اتمها، یک بلور ایده آل نیست. افزون بر آن، نواقص ساختاری نیز وجود دارند که در حین رشد بلور و یا در مراحل دیگر بلوری شدن و آماده سازی یک بلور روی می دهند. بحث اصلی در این گزارش در مورد نواقص یک بعدی یا خطوط دررفتگی است. دررفتگیها را می توان به کمک تغییر شکلهای ناکشسان در جامدات توصیف کرد. این تغییر شکلهای در اثر لغزشهای انتقالی در بلور روی می دهند. حالت لغزش را توسط بردار برگر^(۱) تعیین می کنیم که اندازه این بردار برابر با اندازه لغزش و راستای آن معرف جهت جابه جایی اتمها یا همان راستای لغزش است.

دررفتگیها در دو مرحله از مراحل رشد و آماده سازی بلور ممکن است روی دهند:

۱- در مرحله رشد: اگر دانه اولیه که برای رشد استفاده می شود، دارای خطوط دررفتگی باشد، این دررفتگیها می توانند به داخل لایه های اتمی در حال رشد نیز انتشار یابند. همچنین تغییرات ناگهانی در آهنگ رشد نیز ممکن است منجر به تولید دررفتگی شود. عامل دیگر در ایجاد دررفتگی عدم تطابق ثابت شبکه در بستر^(۲) و لایه برآراستی^(۳) است. این مسأله در مورد رشدهای چند بلوری و یا رشد لایه هایی با یک نوع بلور، ولی با مقدار ناخالصی آلاینده متفاوت، روی می دهد، علاوه بر این، رشد بر روی سطوح تمیز نشده نیز منجر به چگالی بالایی از دررفتگیها می شود.

۲- در مرحله پس از رشد: در این مرحله تنشهای مکانیکی وارد بر بلور، ناشی از سرد کردن بلور، عملیات باز پخت، پخش ناخالصی به داخل شبکه و عملیات شکل دهی از قبیل پرداخت، سایش و برش، باعث تولید خطوط دررفتگی می شوند.

سونش شیمیایی

دررفتگیها و چگالی آنها در واحد سطح را می توان به روشهای مختلفی مطالعه و مشاهده کرد. جدول ۱ این روشها و محدوده استفاده از آنها را نشان می دهد [۱]. چنانکه از جدول پیداست، سونش شیمیایی^(۱) روشی است که $\rho_{\max}$ را بیش از سایر روشها آشکار می کند، ضمن اینکه هیچ محدودیتی بر روی ضخامت نمونه اعمال نمی کند. اما با این روش نمی توان اندازه و جهت بردار برگرا را به دست آورد.

جدول ۱ مقایسه روشهای مشاهده دررفتگیها

روش	ضخامت نمونه	پهنای تصویر	$\rho_{\max} (\text{cm}^{-2})$
میکروسکوپ الکترونی	$> 1000 \text{ \AA}$	$\sim 100 \text{ \AA}$	$10^{11} - 10^{12}$
تراگیل پرتو X	$0.1 - 10 \text{ mm}$	$5 \mu\text{m}$	$10^4 - 10^5$
بازتاب پرتو X	$2 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m}$	$2 \mu\text{m}$	$10^6 - 10^7$
ترئینی	$\approx 10 \mu\text{m}$	$0.5 \mu\text{m}$	2×10^7
سونش شیمیایی	محدودیت ندارد	$0.5 \mu\text{m}$	4×10^8

سونش شیمیایی فرایندی است که می تواند هنگام آماده سازی سطح نمونه برای انجام هریک از مراحل ساخت، و یا در تحلیل نواقص بلوری نیمرساناها کاربرد داشته باشد. سونشگرهای شیمیایی را می توان بر اساس نوع کاری که انجام می دهند به دو گروه تقسیم کرد:

۱ - سونشگر گزینشی

۲ - سونشگر پرداختی

در یک سونشگر پرداختی ایده آل، سرعت برداشتن ماده از روی سطح به راستای

بلورنگاری و یا نواقص بلوری بستگی ندارد، ولی با شعاع انحنای موضعی سطح نسبت عکس دارد. در مقابل، یک سونشگرگزینشی ایده آل در مناطقی با چگالی بالایی از نواقص بلوری، اما کاملاً صاف و آینه‌ای، سریعتر عمل می‌کند. به طور کلی یک سونشگر، حداقل باید شامل سه مولفه باشد، یکی از مولفه‌ها سطح را اکسید کند. دیگری قسمت‌های اکسید شده را کمپلکس کرده به یک ماده قابل حل در آورد و سومی رقیق کردن محلول را انجام دهد. واکنشهایی که هنگام سونش انجام می‌گیرند از نوع واکنشهای اکسایش و احیا هستند.

پس از سونش شیمیایی سطح بلور، عموماً مناطقی به صورت فرورفتگی و یا برآمدگی بر روی سطح مشاهده می‌شوند، که آنها را به ترتیب چال سونشی^(۱) و خال سونشی^(۲) می‌نامند. خال سونشی در نقطه‌ای از سطح ایجاد می‌شود که در آنجا سرعت حل شدن به دلیل چسبیدن رسوبهای حاصل از سونش بر سطح، یا پوشیده شدن سطح به وسیله ذرات اکسید شده کوچک غیر قابل حل کاهش یافته باشد. در مطالعات و آزمایشهای سونش، اطلاعات لازم عمدتاً از بررسی نقش چالهای سونشی به دست می‌آیند و توجه کمتری به خالها می‌شود. چال سونشی در نقطه‌ای از سطح ایجاد می‌شود که در آنجا سرعت حل شدن بیشتر از سایر نقاط است. هر چال سونشی می‌تواند به ویژگی خاصی، مثلاً وجود یک دررفتگی در آن نقطه، مربوط باشد.

بلور CdTe

CdTe در گروه نیم رساناهای II-VI قرار دارد. سازوکار پیوند در این ترکیبات کووالانسی است، که مشخصه یونی آن نیز قوی است. اثر این پیوند یونی در استحکام شبکه، بالا رفتن نقطه ذوب و نیز افزایش گاف انرژی ترکیبات II-VI کاملاً مشهود است. CdTe دارای ساختار بلاند روی است و به گروه فضایی بدون مرکز تقارن $F43m$ تعلق دارد. گاف انرژی CdTe

نسبتاً بزرگ و در حدود $1/49\text{eV}$ است.

ویژگیهای الکتریکی و اپتیکی مناسب CdTe سبب شده است تا از آن در ساخت قطعاتی چون دیودها و ترانزیستورها استفاده شود. همچنین به دلیل حساسیت شدید آن به نورهایی که در محدودهٔ فرو سرخ، مری و پرتو X قرار دارند، استفاده از آن در ساخت قطعات حساس به نور از قبیل تلسکوپهای فرو سرخ^(۱)، دوزیمتر پرتو X ، سلولهای فوتوالکتریک ممکن شده است. اخیراً نیز از CdTe در ساخت پنجره‌های فرو سرخ، مدولاتورهای الکترو-اپتیک، قطعات پیزوالکتریک، قطعات اپتیکی غیر خطی، سلولهای خورشیدی و آشکار سازهای هسته‌ای استفاده شده است [۲].

از دیگر موارد کاربرد بسیار مهم CdTe ، استفاده از آن به عنوان بستر در رشد لایه‌های برآراستی $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ است، که مادهٔ اخیر در ساخت آشکار سازهای فرو سرخ اهمیت دارد. به دلیل تطابق فواصل شبکه‌ای CdTe و HgCdTe و نیز به خاطر سازگاری شیمیایی این دو ماده، CdTe ایده آل ترین بستر در رشد برآراستی HgCdTe است.

بلورهای CdTe را می توان از طریق رشد از مذاب، رشد از محلول و رشد از فاز بخار تهیه کرد. بلورهای بزرگ CdTe به یکی از روشهای بریجمن، روش گرماده متحرک^(۲) (THM) و رشد از طریق انتقال بخار^(۳) تهیه می شود. روشهای مختلف رشد نشان داده اند که عمده ترین نقص ساختاری در تک بلورهای CdTe ، رشد دوقلویی، مرز ریزدانه ها و رسوبها هستند [۳].

نکته دیگری که در مورد بلور CdTe باید ذکر کرد وجود قطبش در امتداد $\langle 111 \rangle$ است. CdTe دارای ساختار بلاند روی است. اگر در امتداد $\langle 111 \rangle$ به این ساختار نگاه کنیم خواهیم دید که صفحات شامل اتمهای Cd و صفحات شامل اتمهای Te به تناوب روی

1- Infrared Telescope Image Intensifier

2- Traveling Heater Method

3- Vaper-Transport Growth

یکدیگر چیده شده اند. هر صفحه با صفحه بعد یا با یک پیوند یگانه و یا با یک پیوند دو گانه ارتباط دارد. اگر بخواهیم این بلور را در راستای $\langle 111 \rangle$ تحت کشش قرار دهیم احتمال شکستن بلور در امتداد پیوندهای یگانه بیشتر است. در نتیجه یک صفحه Cd و یک صفحه Te به وجود می آید که هر اتم Cd و هر اتم Te بر روی سطح، فقط با دو پیوند به شبکه وصل می شوند. با توجه به اینکه CdTe یک ترکیب II-VI است، لذا هر اتم Cd دارای دو الکترون ظرفیت است، که این دو الکترون را در پیوند با شبکه قرار داده است، بنابراین هیچ الکترون ظرفیت دیگری ندارد. اما هر اتم Te دارای شش الکترون ظرفیت است که دو الکترون آن را در پیوند با شبکه قرار داده و چهار الکترون ظرفیت دیگر دارد که به راحتی می توانند واکنشهای شیمیایی شرکت کنند. این مسئله، و اینکه اتمهای Te الکترونگاتیوتر از اتمهای Cd هستند، باعث شده است که صفحه Te از نظر شیمیایی فعالتر از صفحه Cd باشد و از این رو در امتداد $\langle 111 \rangle$ آثار قطبش در بلورهای CdTe مشاهده شود. به عنوان مثال لایه های برآراستی HgCdTe در امتداد $\langle 111 \rangle$ بستر CdTe رشد داده می شوند، اما ریخت شناختی سطح لایه های رشد یافته بر صفحه Te(111) بسیار بهتر از لایه هایی است که روی صفحه Cd(111) رشد می کنند [۴] لذا تعیین قطبیت بلور CdTe اهمیت دارد. یکی از ساده ترین و بهترین روشهای تعیین قطبیت، سروش شیمیایی است. در این زمینه کارهای زیادی صورت گرفته و سونشگرهایی نیز معرفی شده اند که آنها را در جدول ۲ فهرست کرده ایم.

دو محلول اول، سونشگرهای E و برم در متانول، صرفاً سطوح بلوری را پرداخت می کنند. یعنی لبه ها و پله های روی سطح را گرد کرده و سطح را صاف و آینه ای می کنند. سونشگرهای EAg_1 و EAg_2 روی صفحه Cd(111) چالهای سونشی مثلثی عمیق و بر روی صفحه Te(111) چالهای سونشی ته - صاف به وجود می آورند [۵]. اما چالهایی که به وسیله EAg_2 بر روی صفحه Te(111) ایجاد می شوند، ۶۰ درجه نسبت به چالهایی که توسط

رشد تک بلورهای CdTe و CdSe

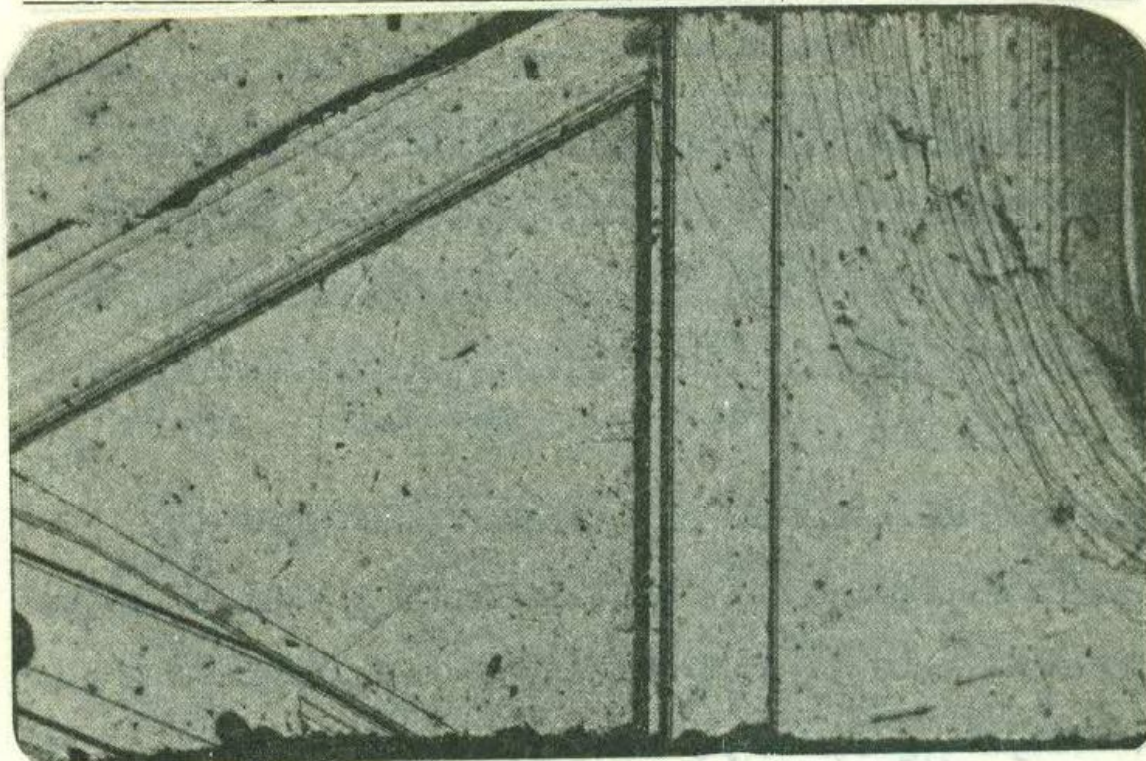
برای دست یابی به بلورهای CdTe و CdSe از روش رشد در لوله باز استفاده کردیم [۷]. در این روش ماده بسلور را در یک قایق در لوله کوارتز قرار داده و سپس منطقه‌ای از کوره را که قایق در آن است تا دمای تصعید ماده گرم می‌کنیم. آنگاه با عبور گاز آرگون یا هلیوم، ماده تصعید شده به ناحیه سرد لوله برده شده و در آنجا شروع به هسته سازی و رشد تک بلور می‌کند.

کوره‌ای که برای رشد مورد استفاده قرار گرفت، یک کوره سه منطقه‌ای است که در عمل فقط از دو منطقه دمایی آن استفاده شد، و منطقه سوم به عنوان ناحیه سرد که عمل هسته سازی در آنجا صورت می‌گیرد، به کار رفت. منطقه میانی کوره در دمای تصعید ماده قرار گرفت و منطقه اول نیز به منظور جلوگیری از افت ناگهانی دما، در دمایی به اندازه 100°C کمتر از دمای منطقه میانی تنظیم شد.

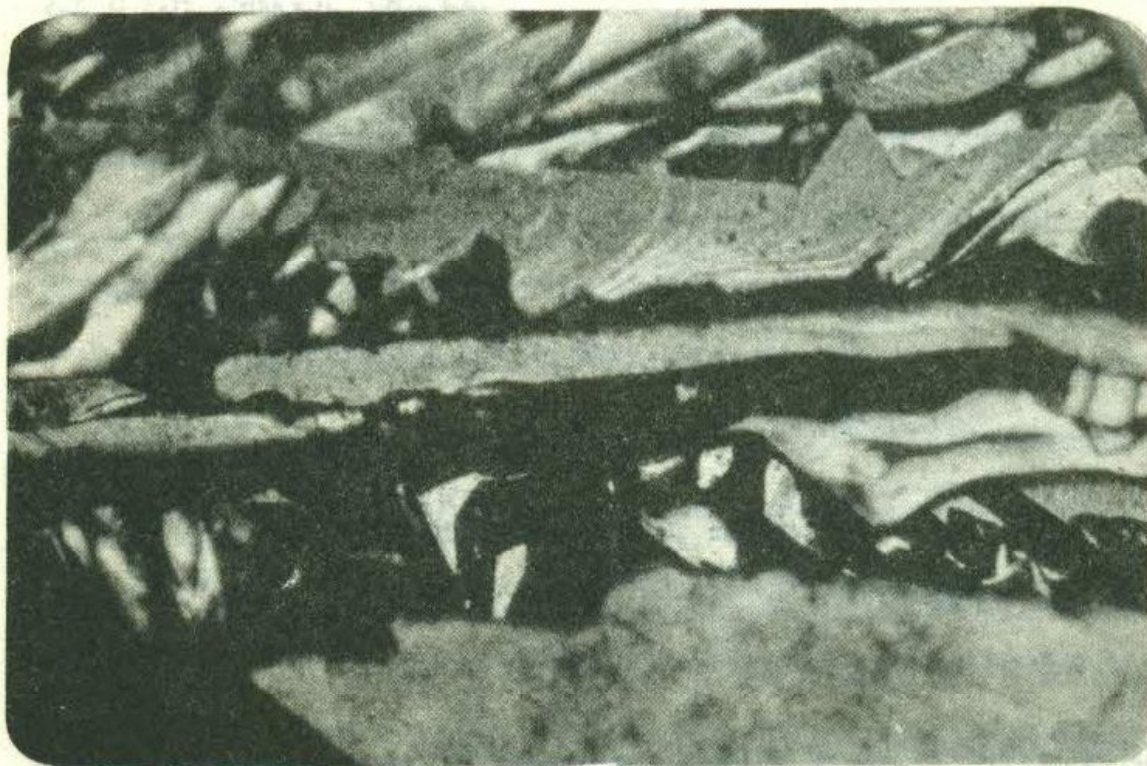
مدت رشد برای بلورهای CdTe، ۱۶ تا ۲۰ ساعت و برای بلورهای CdSe، ۸ تا ۱۰ ساعت انتخاب شد. سرعت جریان گاز در هر دو مورد ۹۰-۱۵۰ ml/min بود. دمای تصعید با توجه به منحنیهای نیمرخ دمایی برای CdTe، 950°C و برای CdSe، 1050°C انتخاب شدند.

نتایج رشد بلورهای CdTe

بلورهای CdTe در ابعاد تقریبی $8 \times 6 \text{ mm}$ و با ضخامتی در حدود ۱ تا ۲ میلیمتر رشد می‌کنند این بلورها دارای دو سطح مشخص‌اند. تصاویر این دو سطح در زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی ۵۰ در شکل ۱-الف و ب دیده می‌شوند. از شکل ۱-الف پیداست که یک سطح بلور، که آن را رخ A می‌نامیم، کاملاً صاف و هموار است و در برخی از نقاط لبه‌هایی پله‌ای شکل بر روی سطح در امتدادهای معینی دیده می‌شوند. اما سطح دیگر در شکل ۱-ب که آن



(الف)



(ب)

شکل ۱ تصویری ازدو سطح (۱۱۱) یک تک بلور CdTe. الف: رخ A و ب: رخ B.

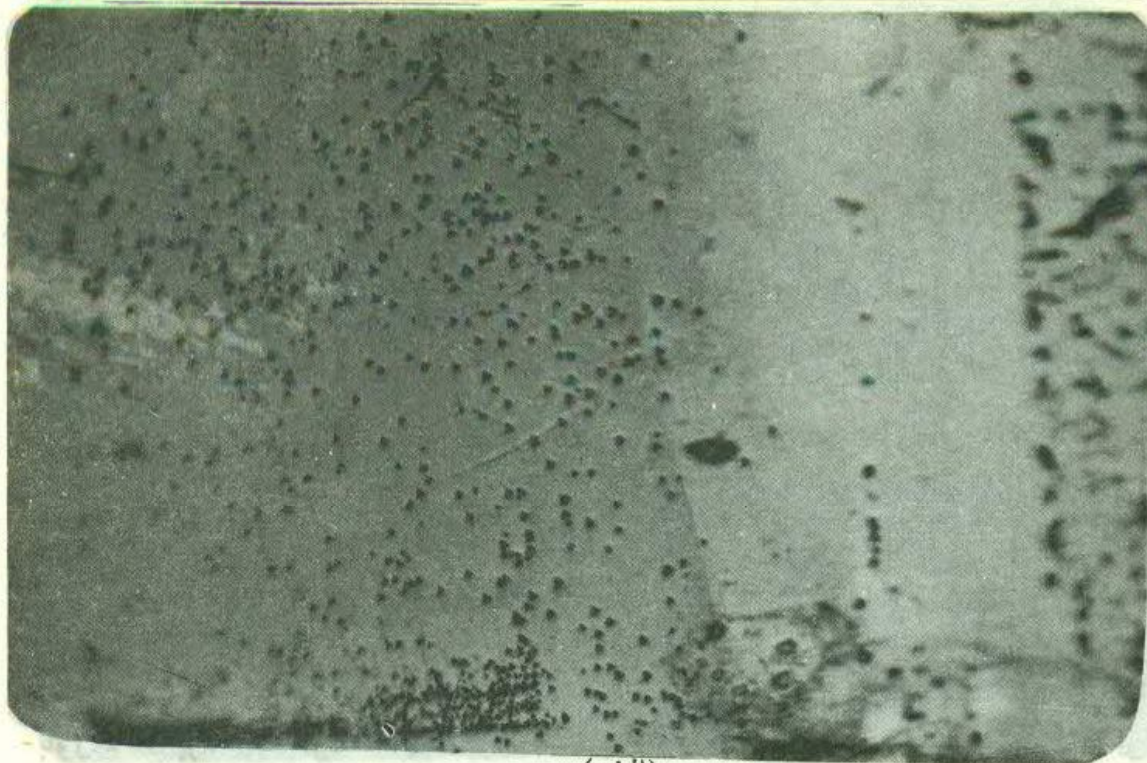
را رخ B می‌نامیم، ناصاف و ناهموار است و فقط گاه گاهی می‌توان یک ناحیه کوچک صاف بر روی آن مشاهده کرد.

به منظور تشخیص و شناسایی رخی‌های رشد یافته A و B در بلورهای CdTe از روش عکس برداری لاوه استفاده شد. عکسهای لاوه که از چندین نمونه بلوری در راستای عمود بر رخ A یا B گرفته شد همه دارای تقارن ۳ بودند. از مقایسه این تصویر با تصویر برجسته نگاری صفحه (111) نتیجه می‌شود که هر یک از دو سطح A و B در بلورهای CdTe، از نوع صفحه (111) است.

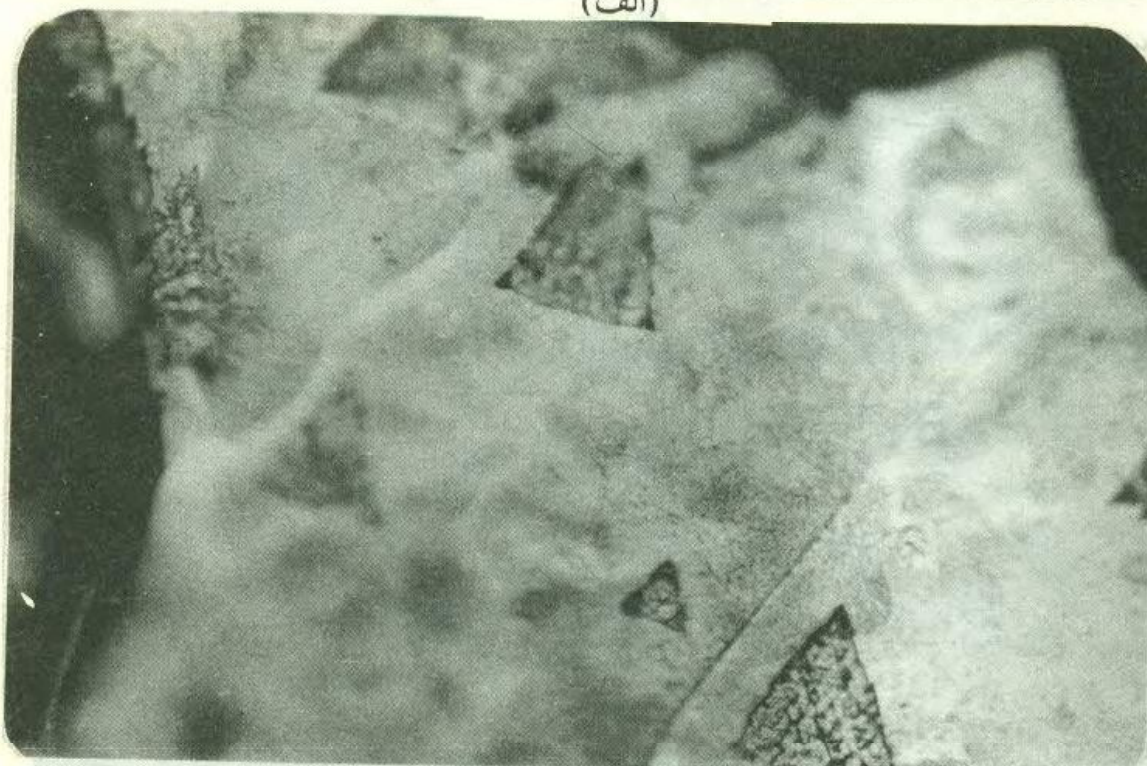
سپس لازم بود که قطبیت این صفحات نیز تعیین شوند. برای این منظور از روش سونش شیمیایی استفاده شد. برای انجام سونش گزینشی، قبل از هر چیز لازم است که سطح بلور کاملاً پرداخت شود. عملیات پرداخت نیز عموماً با هر دو روش مکانیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد. در عمل به دلیل کوچک بودن ابعاد بلورهایی که به این روش رشد می‌یابند، امکان پرداخت مکانیکی بلور وجود نداشت، لذا فقط عملیات پرداخت شیمیایی انجام گرفت.

نتایج سونش با سونشگرهای EAg_1 و EAg_2

ابتدا نمونه‌های تک بلور CdTe به مدت ۱ تا ۲ دقیقه در محلول E پرداخت شدند. پس از شستشو با آب مقطر به مدت ۴۰ تا ۹۰ ثانیه در سونشگرهای EAg_1 و EAg_2 سونش شدند. در نمونه‌های زیادی که مورد آزمایش قرار گرفتند، مشاهده شد که روی سطح صاف بلور، یعنی رخ A، چالهای مثلثی عمیق و بر سطح ناصاف آن، یا رخ B، چالهای مثلثی ته - صاف ایجاد می‌شوند. این نتایج در شکل‌های ۲-الف و ب نشان داده شده‌اند. تمام نمونه‌هایی که مورد آزمایش واقع شدند ویژگیهای فوق را نشان دادند، بنابراین به صراحت می‌توان نتیجه گرفت که



(الف)



(ب)

شکل ۲ چالهای سونشی ایجاد شده در اثر EAg_1 روی الف: رخ A ($\times 20$) و ب: رخ B ($\times 50$)

از یک تک بلور CdTe.

رخ صاف بلور یا سطح نامگذاری شده A، صفحه (111)Cd و رخ ناصاف آن صفحه (111)Te است.

اثر EAg_2 بر نمونه‌ها سریع تر است به طوری که پس از ۴۰ ثانیه سونش، روی هر دو رخ چالهای سونشی ایجاد می‌شوند. شکل چالها روی رخ صاف بلور به صورت مثلثهای عمیق و روی رخ ناصاف به صورت مثلثهای ته - صاف است. در شکل ۲ - الف دیده می‌شود که چالهای سونشی در امتداد خطوط خاصی متمرکز شده‌اند. معمولاً چگالی در رفتگیها در امتداد مرزهای ریز دانه‌ای زیاد است و لذا بر روی این مرزها چگالی چالهای سونشی نیز زیاد خواهد بود. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که خطوط مذکور مربوط به مرزهای ریز دانه‌ای هستند.

نتایج رشد بلورهای CdSe

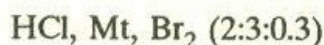
تک بلورهای CdSe که به روش بالا رشد می‌کنند کاملاً ترد و شکننده‌اند و به صورت برگه‌های نازکی با ضخامتی در حدود دهم میلیمتر و ابعاد تقریبی 3×8 میلیمتر هستند. سطوح آنها براق و درخشان است و هر دو رخ بلور یکسان بنظر می‌رسند. CdSe در ساختار وورتسیت^(۱) متبلور می‌شود. این ساختار از دو شبکه شش گوشه در هم فرو رفته تشکیل شده است، که هر شبکه فقط شامل یک نوع اتم است. این ساختار در راستای [0001] دارای قطبش است. عکسهای لایه نشان می‌دهند که سطح رشد یافته این بلورها از نوع صفحه (1010) و یا (1120) است. در نتیجه انتظار نداریم هیچ گونه آثار قطبش روی این صفحات مشاهده شود.

جدول ۳ سونشگرهای شیمیایی آزمایش شده بر CdSe

محلول	نسبت ترکیب	اثر محلول
H ₂ O, HNO ₃ , H ₂ O ₂	(۱:۲:۱)	هر دو سطح اکسید شده و متخلخل است
	(۲:۳:۱)	
	(۲:۳:۱)	
	(۶:۳:۱)	بی تأثیر
HF, HCl, HNO ₃ , H ₂ O	(۱:۱:۱:۱)	
	(۲:۲:۲:۱)	بی تأثیر
HF, HNO ₃ , Mt	(۱:۱:۱)	
HF, HNO ₃ , Mt, Br ₂	(۱:۱:۱:۰:۱)	لبه ها گرد و سطح متخلخل است
	(۱:۱:۱:۰:۵)	
HF, Mt, Br ₂	(۳:۳:۰:۳)	سطح آینه ای است و گردشگری لبه ها خوب نیست. افزایش اسید اثر نامطلوب دارد
	(۵:۳:۰:۳)	
	(۲:۳:۰:۳)	
	(۳:۳:۰:۳)	
Br ₂ , Mt	%۵	لبه ها گرد شده و روی سطح لایه اکسید نشسته
	%۱۵	
HCl, Mt, Br ₂	(۵:۲:۰:۶)	لبه ها گرد شده اند
	(۴:۳:۰:۳)	سطح آینه ای است
	(۴:۵:۰:۳)	افزایش اسید و برم
	(۴:۵:۰:۵)	اثر نامطلوب
	(۳:۲:۰:۶)	دارد. آخرین محلول
	(۲:۳:۰:۸)	بهترین پرداخت
	(۲:۳:۰:۶)	را می کند.
	(۲:۳:۰:۳)	

سونش شیمیایی CdSe

در زمینه سونش شیمیایی CdSe چون در منابع موجود هیچ گزارشی به دست نیامد سعی شد که یک سونشگر پرداختی و یا گزینشی برای بلورهای CdSe بسازیم. برای این منظور اثر محلولهای مختلفی به روش آزمون و خطا روی بلورهای CdSe آزمایش شد. اما هیچ یک از محلولها نتوانستند هیچ نوع چال سونشی بر روی هیچ یک از صفحات بلور ایجاد کنند. در مرحله بعد سعی شد به یک سونشگر پرداختی برای پرداخت سطوح بلور دست یابیم. در این زمینه نیز اثر محلولهای زیادی روی بلور CdSe آزمایش شد که در جدول ۳ آمده است. برخی از محلولهای جدول ۳ باعث ایجاد گردشگی در لبه‌ها می‌شدند، اما سطح را صاف و آینه‌ای نمی‌کردند، و یا بر روی سطح لایه‌ای از رسوب یا اکسید برجا می‌گذاشتند. برخی دیگر نیز سطح را متخلخل می‌ساختند. در محلولهای گروه اول فقدان مؤلفه کمپلکس کننده منجر به ایجاد لایه اکسید بر روی سطح می‌شود. در محلولهای بعدی از اسید HF به عنوان کمپلکس کننده و HNO_3 به عنوان اکسید کننده استفاده شد. اما این دسته از محلولها اصولاً باعث گردشگی در لبه‌ها نشدند. به این دلیل از برم به عنوان اکسید کننده استفاده شد. ترکیبات برم‌دار نتایج بهتری نشان دادند. با تغییر ماده کمپلکس کننده HF به HCl نتایج حتی بهتر شد. در آخرین مرحله با تغییر غلظت نسبی هر یک از مؤلفه‌ها کوشیدیم محلولی را که بهترین پرداخت را از سطح به دست می‌دهد بیابیم. در نهایت محلولی با ترکیب:



به دست آمد که علاوه بر این که لبه‌ها را گرد می‌کرد، سطح را نیز صاف و آینه‌ای می‌نمود، و آثاری از لایه‌های اکسید و یا رسوب و یا حتی تخلخل بر روی سطح مشاهده نمی‌شد. به همین دلیل ما این محلول را به عنوان یک محلول سونشگر پرداختی برای بلورهای CdSe معرفی و پیشنهاد می‌کنیم.

مراجع

- 1- Kittle, C.(1986) **Introduction to Solid State Physics**, John Wiley and Sons, New York.
- 2- Zhao, S.N., Yong, C.Y., Houng, C., Yue A.S.(1983) *J. Crystal Growth*, **65**, 370-378.
- 3- Durose, K., Russel, G.T.(1990) *J.Crystal Growth*, **101**, 246-250.
- 4- Bagai, R.K., Seth, G.L., Borle, W.N.(1988) *J. Crystal Growth*, **91**, 605-609.
- 5- Inoue, M., Teramoto, I., Takayanagi, S.(1962) *J. Appl. Physics*, **33**, 2578-2581.
- 6- Nakagawa, K., Maeda, K., Takeuchi, S.(1970) *Appl. Phys. Lett*, **34(9)**, 514.
- 7- Corsini-Mena, Elli-M., Paorici, C., Pelosini, L.(1972) *J. Crystal Growth*, **8**, 297-298.