

Vol. 12, No. 2, 1383/2004 Fall & Winter



Growth of semiconducting Cd_{0.96}Zn_{0.04}Te single crystal by modified Bridgman and vapor phase transport methods

Sh. Tabatabai Yazdi, M.R. Alinejad, N. Tajabor

Dept. of Physics, faculty of sciences, ferdowsi univ. of mashhad, Iran. E-mail: alinejad@ferdowsi.um.ac.ir

(Received: 4/4/2004, received in revised form: 16/8/2004)

Abstract: Single crystals of Cd_{.96}Zn_{.04}Te (CZT) with 14 mm in diameter were grown by seedless modified Bridgman method. Also, crystals with the same chemical composition were grown by vapor phase inert gas-transport method (VPGT), and single crystals up to 3.5 mm in diameter were obtained. Structural studies by XRD and back reflection Laue method show that the grown crystals are single phase with high purity, which preferentially have been grown along [111] crystal axis. The energy gap of as-grown crystals is about 1.2 eV. The electrical properties measured by Van der Pauw method, show that the resistivity is in order of $10^4 \Omega$.cm. The electrical conductivity of crystals grown by Bridman method is p-type, and for VPGT-crystals is ntype.

Keywords: *Crystal growth, Semiconductor, Bridgman, vapor phase transport, Cd-Zn-Te.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-27]



سال دوازدهم، شمارهٔ ۱، پائیز و زمستان ۸۳، از صفحهٔ ۲۳۹ تا ۲۵۲



رشد تکبلور نیمرسانای Cd._{/۹۶}Zn._{/۰۴}Te به دو روش بریجمن تغییریافته و ترابری فاز بخار

شكوفه طباطبائى يزدى، محمدرضا علىنژاد، ناصرتجبر

مشهد، پردیس دانشگاه فردوسی، دانشکدهٔ علوم، گروه فیزیک. پست الکترونیکی: alinejad@ferdowsi.um.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۳/۱/۱۵ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۳/۵/۲۵)

چکیده: تکبلورهای CCL._{/۹۶}Zn.,،۴Te (CZT) با قطر تا ۱۴ mm به روش بریجمن تغییریافته و بدون استفاده از هستهٔ اولیه، رشد داده شدند. بلورهایی با همان ترکیب شیمیایی به روش انتقال فاز بخار بهوسیلهٔ گاز بی اثر (VPGT) نیز رشد داده شد که تکبلورهایی به بزرگی تا mm ۳/۵ mm به دست آمد. مطالعات ساختاری انجام شده با پراش پرتو X و تصاویر پس بازتاب لاوه نشان می دهند که بلورهای رشد یافته تکفازند و ترجیحاً به موازات محور بلور [۱۱۱] رشد می کنند. گاف انرژی بلورهای رشد داده شده در حدود VP است. خواص الکتریکی اندازه گیری شده به روش وندرپو نشان می دهند که مرتبهٔ بزرگی مقاومت ویژهٔ تکبلورهای حاصل ۱۰۴۵.cm است. رسانندگی الکتریکی بلورهای رشد داده شده به روش بریجمن نوع q و بلورهای رشد داده شده به روش کا ۲۲

واژههای کلیدی: رشد بلور، بریجمن، انتقال فاز بخار، نیمرسانا، Cd-Zn-Te.

مقدمه

بین نیمرساناهای با گاف انرژی پهن، ترکیب Cd_{1-x}Zn_xTe به خاطر کاربردهای آن در زمینهٔ ساخت دیودهای نورگسیل، لیزرهای نیمرسانا، باتریهای خورشیدی و آشکارسازها [۱ و ۲]، بیشترین توجه را به خود جلب کرده است. از دههٔ شصت میلادی به این طرف تحقیقات گستردهای در زمینه رشد و مطالعهٔ خواص ترکیبات Cd_{1-x}Zn_xTe صورت گرفته است که در مرجع [۳] مرور شدهاند. بازدهٔ بالای آشکارسازی انرژیهای فوتونی کمتر از ۸۰۰ keV، گاف انرژی مناسب، مقاومت ویژهٔ بالا، امکان رشد تکبلورهای حجیم و استحکام مکانیکی خوب از جمله مهمترین مزایای نیمرساناهای CZT نسبت به دیگر نیمرساناها محسوب می شوند [۴].

از آنجا که خواص اپتیکی، الکتریکی، گرمایی، و ساختاری ترکیب $Cd_{1-x}Zn_xTe$ به روش بریجمن $X \simeq 1.4$ به راد داده شود. خواص ترکیبات $X \simeq 2n_x Te$ با $Cd_{1-x}Zn_x$ به راX < 1.4 م X < 1.4 به روش بریجمن کاربست آنها در زمینهٔ آشکارسازی تابشهای هستهای در دمای اتاق شده است [N]. از آنجا که اولاً، رسانندگی گرمایی TC-1.4 که که $X = 2n_x$ باین است، ثانیاً، ثابت شبکهٔ بلوری Td-1.4 (N كروه فضایی R = 4.4) در حدود 7.4, با Td-1.2 تفاوت دارد، و ثالثاً، انرژی حاصل از برهم چینی در [N]. روشهای مختلف به کار برده شده برای رشد بلورهای TZ-1.4 رو ثالثاً، انرژی حاصل از برهم چینی در آما. ترکیبات کم است، لذا رشد تکبلورهای TZ-1.4 ساده نیست و نیاز به تدابیر ویژهای دارد این ترکیبات کم است، لذا رشد تکبلورهای TZ-1.4 ماد بنیت و نیاز به تدابیر ویژهای دارد این ترکیبات کم است، لذا رشد تکبلورهای TZ-1.4 ماده نیست و نیاز به تدابیر ویژهای دارد این ترکیبات کم است، لذا رشد تکبلورهای TZ-1.4 ماده نیست و نیاز به تدابیر ویژهای دارد این ترکیبات کم است، لذا رشد تکبلورهای TZ-1.4 ماده نیست و نیاز به تدابیر ویژهای دارد آمدهاند. انتخاب هر روش رشد بستگی به حوزهٔ کاربرد تکبلورهای TZ-1.4 ماده در جدول ۱ مرور اخیراً بلورهایی به روش بریجمن در فشار پایین رشد داده شدهاند که در طیف تحرب ویژهای دارد شدهاند. انتخاب هر روش روش روش محصوب میشود [S و 1.4]. در کنار تلاشهای الخیراً بلورهای که مروزه برای کاهش نقایص باوری TZ-2 در حال انجام است، در این پژوهش مکبلورهای که مروزه برای کاهش نقایص بلوری TZ-3 در حال انجام است، در این پژوهش ترمکان ته ماده داده شدهاند راده شده داده شده.5 ماد داده شده داده شده.5 ماده داده شده داده شدند.

علاوه بر این، از آنجا که در مجموعهٔ روشهای به کار برده شده برای رشد بلور CZT، روش VPGT دیده نمی شود، لذا برای اولین بار، این روش برای رشد بلور نیمرسانای CZT به کار برده شد. با اینکه به روش انتقال فاز بخار نمونههای بزرگی به دست نمی آید و آهنگ رشد نیز نسبتاً پایین است، اما، به دلیل پایین بودن دمای رشد، بلورهای حاصل عموماً دارای کیفیت و خلوص بالایی هستند. خلوص بالا از آنجا ناشی می شود که ناخالصیهای اکسیدی که دارای فشار بخار کمتری در مقایسه با CZT هستند، تبخیر نشده و وارد جریان رشد نمی شوند [۱۷].

از آنجا که اندازهٔ گاف انرژی و مقاومت ویژهٔ الکتریکی هر نیمرسانا ویژگیهای اساسی هستند که امکان کاربرد آن نیمرسانا در ساخت آشکارسازها و قطعات الکترواپتیکی را نشان میدهند، لذا پس از رشد بلورها و تحقیق ویژگیهای ساختاری آنها، گاف انرژی و مقاومت ویژهٔ آنها نیز اندازه گیری شد.

نتيجه	روش رشد			
اولین بلور قطور (۱۱۱) VGF با L = ۴۰ mm و اولین بلور قطور (۱۰۱) EPD اولین بلور قطور (۱۰۰ د ۱۰۵ EPD)	[٩] (١٩٨۶) ² VG			
	[1+] (1988) ³ VB			
$EPD \equiv 1 C 1 \times 1^{\circ} Cm^{\circ} d = \Delta \cdot mm^{\circ}$	با کورہ چند منطقہای			
بسترهای (۱۱۱) با ابعاد تا ^۲ ۲۸ cm	[11] (199+) ⁴ HB			
$EPD < 1 \cdot f cm^{-r} v = Acm^{r} d = Y\Delta mm$	[1Y] (1997) ⁵ PVT			
بلور با مقاومت ویژهٔ بالا و l = ۸۰mm و d = ۳۲ mm	[1٣] (1٩٩٣) ⁶ THM			
$\mathrm{EPD}\cong \mathfrak{P} \simeq \mathfrak{r} \times \mathfrak{r}^{*} \mathrm{cm}^{-r}$ ، d = ۱۰۰mm (۱۱۱)، تک بلور بدون دوقلو	[1۴] (199۴) VGF			
بلور حجيم با وزن w = ۶ kg و d = ۱۰۰mm	[16] (1994) VB			
بلور حجیم با دانههای درشت، w = ۹ kg و d =۱۲۰mm	[٢] (١٩٩۶) ⁷ HPB			
	[١] (٢٠٠٠) VB			
بلور تک قار و بدون ترک خورد دی، شm ۱۵ mm و ۱۰ mm تا a = ۱۰ mm	سنتز به روش MTOM ⁸			
	[18] (T++T) VB			
بلور با مفاومت u = ۱۰ mm φ ≈ ۱۰ ۵2.cm و u = ۱۰ mm	تحتفشار کنترل شده Cd/Zn			

جدول ۱ مروری بر گزارشهای منتشر شده در زمینهٔ رشد بلورهای CdTe /CdZnTe درشت. (d قطر بلور رشد داده شده، 1 ارتفاع و v حجم آن است).

روش آزمایش

تک بلورهای Cd._{/۹۶}Zn._{/۴}Te در چند نوبت با استفاده از عناصر Zn ، Te و Cd و نیز دوتایی های CdTe و ZnTe تهیه شدند. مواد اولیه با خلوص بهتر از ۹۹/۹۹٪ بنابر موازنهٔ شیمیایی یک به یک به همراه ۰/۰۸ وزنی Cd اضافی و در حدود ۱/۵٪ وزنی Te اضافی به وسیلهٔ ترازویی با حساسیت yr ۰/۰۱ توزین شدند. جرم عناصر به کار رفته در هر نوبت در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر اضافی Cd و Te با توجه به فشار بخار نسبتاً بالای آنها انتخاب شدند.

جدول ۲ جرم مواد اولیه، ابعاد آمپول کوارتز و آهنگ رشد چهار نمونهٔ Cd.,۹۶Zn.,.۴Te که به روش بریجمن رشد داده شدهاند.

نمونه	قطر آمپول (^{mm)}	ار تفاع آمپول (cm)	آهنگ رشد (mm/h)	M _{Cd}	$\underset{(gr)}{M_{Zn}}$	$\underset{(gr)}{M_{Te}}$	M _{CdTe}	M _{ZnTe}	$\underset{(gr)}{M_{tot}}$
١CZT	١.	١٢	۵	-	-	۰,۰۳	۴٫۸۵	۰٫۱۶	۵,۰۴
۲CZT	۱۵	١٢	۵	-	-	۰ ٬۰۶	٩٫٧٠	٠٫٣٢	۸۰,۰۸
۳CZT	۱۵	14	۵	۹٫۱۱	•,٣٣	۱۰٬۸۸	-	-	۲۰٫۲۱
۴CZT	۱۵	14	٣	۶۶/۱۳	٠٫٣٣	18,88	-	-	٣٠٫٣١

1- Etch-Pit Density

3- Vertical Bridgman

5- Vapor phase transport

7- High pressure Brigman

2- Vertical Gradient Freezing

4- Horizontal Bridgman

6- Traveling Heater Method vapor

8- Melting point oscillation

مواد اولیه درون یک لولهٔ کوارتز به قطر داخلی ۲۵ ۱٬۵ ۲۵، که پیشتر یک انتهای آن با شعلهٔ با دمای بالا بسته شده بود، قرار داده می شوند. به منظور جلوگیری از واکنش مواد با بدنهٔ لولهٔ کوارتز، دیوارهٔ داخلی این لوله به روش پیرولیز گرمایی تولوئن (با خلوص ۹۹٬۹۹٪) در دمای °C ۱۰۰۰ با لایهٔ سخت کربن اندود شده بود. پس از بارگذاری مواد اولیه و پیش از بستن آمپول، هوای درون لوله تا فشار ۱۰۲ ۲۰ تخلیه و با گاز بی اثر آرگون جایگزین شد. برای جلوگیری از آلودگیهای احتمالی، سنتز و رشد بلور Te., Zn., ST در قالب یک فرایند و درون همین آمپول انجام شد.

عملیات گرمادهی درون کورهٔ لولهای عمودی که دمای نقطهٔ مرکزی آن با دقت C° ۱ قابل تنظیم است، انجام شد. آمپول محتوی نمونه با بازویی از جنس کوارتز به یک بالابر، که قادر به جابهجا کردن آمپول با سرعتی به کوچکی تا mm/h است، متصل شد. در این مجموعه، شیب دمایی مورد نیاز با دقت بهتر از C/h° ۱ از طریق انتخاب ترکیب مناسبی از نیمرخ دمایی کوره و سرعت جابجایی آمپول قابل تحصیل است.

در شکل ۱ کاملترین برنامهٔ گرمادهی، که برای رشد نمونهٔ ۴ به کار برده شد، نشان داده شده است. توقف در نزدیکی دمای ذوب هر یک از عناصر در این برنامهٔ دمایی، فرصت تکمیل واکنشهای بین عناصر را فراهم می آورد. از آنجا که پس از هر واکنش گرمازا دمای نمونه سریعاً افزایش می یابد، لذا انتخاب شیب دمایی نشان داده شده در شکل ۱ برای رعایت برنامهٔ دمایی مورد نظر (به ویژه در حدود ۲° ۸۰۰) ضروری است. تلاشهای اولیهٔ ما نشان دادند که عدم رعایت این برنامه موجب افزایش بیش از حد فشار بخار درون آمپول کوارتز و ترکیدن آن می-شود. در مواردی که مادهٔ اولیه از ترکیبات دوتایی CdTe و ZnTe انتخاب می شد، مراحل مربوط به تشکیل این دو فاز از برنامه حذف می شد.



شكل ۱ برنامه گرمادهی جهت رشد بلور Cd.,،،Te از مخلوط اولیهٔ عناصر Cd، و Zn.

به منظور افزایش کیفیت بلوری که از ترکیب سنتز شده رشد مییافت، دمای نمونه چندین بار بین دو مقدار 2° ۱۱۳۰ و 2° ۱۰۰۰ تغییر داده شد. این عمل که روش نوسان دمای مذاب نامیده میشود، باعث خروج گازهای باقیمانده در حجم نمونهٔ سنتز شده میشود. سپس دمای نقطهٔ مرکزی کوره در مقدار 2° ۱۱۵۰ تنظیم شد. نیمرخ دمایی کوره در این وضعیت در شکل ۲ نشان داده شده است. آمپول محتوی ترکیب ECL.₁₄₅Zn...۴Te از نقطهای با دمای 2° ۱۱۳۰ (حدود 2° ۲۵ بالاتر از دمای ذوب ترکیب) با آهنگ Mm/h درون کورهٔ عمودی جابهجا شد تا بلور به آرامی درون آن رشد کند. با توجه به نیمرخ دمایی کوره در شکل ۲، آهنگ جابهجایی فوق معادل با شیب دمایی 10° ۳ است. به منظور کاهش تنشهای گرمایی باقیمانده در نمونهٔ رشدیافته، آمپول محتوی نمونه به مدت A در دمای کوره در شکل ۲ مطالعهٔ خواص ساختاری و فیزیکی بلورهای رشد داده شده، قرصهایی به ضخامت ۳m۳ –۲ از مطالعهٔ خواص ساختاری و فیزیکی بلورهای رشد داده شده، قرصهایی به ضخامت ۳ ساست مقطع بلور استوانهای شکل برش داده شده. سطح مقطع هر قرص به روش مکانیکی و سپس موانش شیمیایی با محلول متانول – ۳ MT ٪ پرداخت شد، به نحوی که ساختار دانهای بلورها

برای رشد بلور TC.،۹۶Zn./۰۴Te از فاز بخار، از یک کوره افقی سه منطقه ای استفاده شد، که طول هر منطقه حدود Cm ۳۳ و دمای هر منطقه به تنهایی قابل تنظیم است. یک لولهٔ کوارتز به قطر داخلی Cm ۲٫۵ و طول ۲۰ ۲۰ به عنوان محفظهٔ رشد درون کوره قرار داده شد. با توجه به توزیع دمایی کوره در شکل ۳–الف، دمای ناحیهای به طول Cm ۱۵ و به فاصلهٔ مد. با توجه به توزیع دمایی کوره در شکل ۳–الف، دمای ناحیهای به طول Cm ۲۰ و به فاصلهٔ ۲۵ ۲۵ ۲۵ از لبهٔ منطقهٔ اول یکنواخت و در حدود C^o ۸۵۰ است. مقدار rg ۲۰ از ترکیبهای دوتایی Cd.۶ و Zn.۶ که بنابر موازنهٔ شیمیایی Cd.۶ است. مقدار Cd.۶ از ترکیبهای قایقهای کوارتز در این ناحیه قرار داده شد. برای افزایش همگنی فاز بخار، طرفین این ناحیه با حدود C^o ۳۰۰، ناحیهٔ رشد ایخاد گردید. شمای محفظهٔ رشد در شکل ۳– ب نشان داده شده مدود C^o ۳۰۰، ناحیهٔ رشد ایجاد گردید. شمای محفظهٔ رشد در شکل ۳ ب نشان داده شده است. با گرمادهی و تصعید مواد و ترابری آنها به وسیلهٔ گاز آرگون، که با آهنگ شارش میافت. این شرایط برای پنج روز حفظ شد تا بلورهای درشتتری رشد کنند.



شکل۳ الف) نیمرخ دمایی کورهٔ افقی وقتی که دمای منطقهٔ چپ و مرکزی در C^{°۹۰۰} تنظیم شده است. **ب)** شمایی از محفظه رشد بلور CZT به روش انتقال فاز بخار به وسیله گاز بیاثر.

طرحهای XRD بلورها به کمک نرمافزار Celref، با ساختار بلوری مکعبی CZT مقایسه شدند. پس از تعیین پارامترهای شبکهٔ بلوری با خطای نسبی کمتر از ۲۰٬۰۲، چگالی Xn (x) در نواحی مختلف هر بلور با استفاده از قانون تجربی وگارد، تخمین زده شد [۲]. مطابق با این قانون، ثابت شبکهای Cd_{1-x} Zn_xTe با درونیابی خطی بین ثابتهای شبکهای CdTe و ZnTe سازگاری نسبتاً خوبی دارد. راستای رشد بلورها با استفاده از تصویربرداری لاوه روی فیلمهایی به ابعاد CM ۲۰ ۲۵ و با تابش Mo-Ka تعیین شد.

مشخصههای الکتریکی و ترابری نمونههای مورد بررسی به روش وندرپو اندازه گیری شدند [۱۹]. اتصالات الکتریکی مورد نیاز با لایهٔ نازک طلا، که به روش تبخیر گرمایی در نقاط مناسب ایجاد می شد، و نیز چسب نقره ایجاد شدند. گاف انرژی بلورهای رشد داده شده به دو روش گرمایی (در بازهٔ دمای اتاق تا ^C ۱۵۰) و نیز اپتیکی (در گسترهٔ طول موجی ۲۰۰ تا ۳۲۰۰۳m اندازه گیری شد. در روش اپتیکی با توجه به کم بودن طول عمر حاملها و به منظور جمع آوری کامل فتوالکترونها، پس از پرداخت سطح قرصی به قطر mm ۱۵ و ضخامت شده در شکل ۴ نهشته شد. خطای اندازه گیری گاف به روش تکرار، کمتر از Ve برآورد شد.

برداشتها

به روش بریجمن بسبلورهایی استوانهای شکل با سطوح براق رشد داده شدند، که تصویر یک نمونه از بلورهای رشد داده شده در شکل ۵-الف دیده می شود. ساختار دانهای دو نمونهٔ ۳ و ۴ در تصاویر نوری شکل ۵-ب و ۵-پ نشان داده شده اند. در شکل ۵-پ، تکبلورهایی به ابعاد تا ۱۴ mm ۱۴ mm و ۱۴ قابل مشاهده اند. مقایسهٔ ساختار دانهای بلورهای ۳ و ۴ که به روش بریجمن و به ترتیب با آهنگ ۵ mm/h و ۳ mm رشد داده شدند، نشان می دهد که با کاهش آهنگ رشد، بلورهایی با دانههای تکبلور بزرگتر حاصل می شوند.

> شکل ۴ تصویر نمونهٔ ۴ با الکترودهای طلا، آماده شده برای اندازه گیریهای اپتیکی. فاصلهٔ الکترودها از یکدیگر ۱ mm ۱ است.





(الف) (ب) (ب) فطر ۵ الف) (ب) میکن (ب) (ب) میکند. ب) ساختار دانه ای قرصی به قطر شکل ۵ الف) تصویر بلور شمارهٔ ۱. اعداد بر حسب سانتیمترند. ب) ساختار دانه ای قرصی به قطر ۲۰۵ از بلور شمارهٔ ۳، که از دانه های تک بلوری به قطر تا ۳۶٬۵ mm تماه مقطع قرصی به قطر ۳۰ مشاهده ۱۴ mm مقطع قرصی به بزرگی حدود ۳۰۰ ۱۰ مشاهده شدند.

برای تحلیل فازهای بلوری، طرح XRD از بخشهای مختلف بلورهای رشد داده شده تهیه، پارامترهای شبکهٔ بلوری آنها با نرمافزار Celref تعیین، و آنگاه چگالی Zn (x) به کمک قانون وگارد تخمین زده شد. یک نمونه از طرحهای XRD در شکل ۶ دیده می شود. قلههای پراش قابل مشاهده در همهٔ طرحهای XRD با ساختار بلوری مکعبی مورد انتظار برای CZT برازش کامل دارند، که نشان میدهد بلورهای رشد داده شده به روش بریجمن، تکفاز بوده و از خلوص بالایی برخوردارند.



شکل ۶ طرح XRD با تابش $Mo-K_{\alpha}$ مربوط به یکی از بلورهای رشد داده شده در این تحقیق.

تغییر چگالی Zn در امتداد محور رشد و نیز امتداد شعاعی در شکل ۷ نشان داده شده اند. به این ترتیب، مشاهده شد که تغییر چگالی Zn در امتداد محور رشد به طور کامل از معادلهٔ انجماد عادی پیروی نمی کند [۳]. این انحراف و افزایش غیرعادی چگالیZn در مراحل اولیهٔ رشد بر اساس فرایند تفکیک Zn در شیبهای دمایی کم و غلبهٔ پدیدهٔ ابرسرمایش بر انجماد عادی در مذاب بدواً منجمد شده قابل توجیه است [۲۰]. تغییر جزئی چگالیZn در راستای شعاعی نیز با شکل مقعر جبههٔ رشد بلورهای CZT سازگار است.

بلورهای $Cd_{1-x}Zn_xTe$ به روش ترابری فاز بخار نیز رشد داده شدند. به این روش، بلورها به صورت خوشهای و به ابعاد تا mm (شد کردند، که تصویر چند نمونه از بلورهای رشدیافته در شکل ۸ دیده می شوند. طرحهای پراش این نمونهها نیز با ساختار بلوری مکعبی CZT برازش کامل دارد، که نشاندهندهٔ تکفاز بودن محصولات است. از تحلیل نتایج پراش پرتو X با نرم افزار Celref و قانون وگارد، چگالی Zn برابر با ۰٬۰۵ برآورد شد که نزدیک به نسبت شیمیایی مورد نظر (۲۰٫۴) (ست.



شکل ۲ الف) تغییرات طولی چگالی Zn بر حسب کسر مولی مادهٔ متبلور شده در نمونهٔ ۴. منحنی خط چین پیش بینی معادلهٔ انجماد عادی ($(x(g) = k x_0 (1 - g)^{k-1})$ با ضریب تفکیک ۱٫۳۵ k = 1است. **ب**) تغییرات شعاعی چگالیZn در نمونهٔ ۴.

به منظور تعیین راستای رشد و تا حدی کیفیت بلوری نمونههای رشد داده شده، طرح پراش پسبازتاب لاوهٔ آنها تهیه شد. بافت تیز و مشخص نقاط پراشی اشاره به رشد تکبلورهایی بدون واپیچش و با کیفیت قابل قبول دارد. در اکثر طرحهای پسبازتاب لاوه از نمونههای رشد داده شده به روش بریجمن، محور بلوری [۱۱۱] شبکهٔ مکعبی بوضوح قابل تشخیص است. به عبارتی، به نظر میرسد با اینکه برای رشد بلورها از هستهٔ اولیه استفاده نشده بود، بلورهای عبارتی، به نظر میرسد با اینکه برای رشد میکنند. این موضوع در توافق با این مطلب است که مواد بیشتر در جهتی رشد میکنند که جبههٔ رشدشان یک صفحهٔ تنگ پکیده باشد [۹].

مشخصههای الکتریکی و ترابری نمونههای مورد بررسی به روش وندرپو اندازه گیری شد، که نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شدهاند. برای مقایسه، نتایج به دست آمده برای نمونههایی با ترکیب مشابه که به روشهای مختلف رشد داده شدهاند نیز در این جدول ارائه شدهاند. هر چهار نمونهٔ رشد داده شده به روش بریجمن دارای رسانندگی نوع q هستند. نتایج تجربی نشان داده-اند که این امر میتواند ناشی از وجود Te اضافی در مواد اولیه باشد [۲۳]. به غیر از نمونهٔ ۲، مقاومت ویژهٔ نمونههای مورد بررسی از مرتبهٔ C.cm ^۲ ۰۱، و قابل مقایسه با مقادیر گزارش شده مقاومت ویژهٔ نمونههای مورد بررسی از مرتبهٔ ۵۰.۳ برای بلورهای رشد یافته به روش بریجمن است. تفاوتهای قابل مشاهده بین نتایج به دست آمده مرای بلورهای رشد یافته به روش بریجمن است. تفاوتهای قابل مشاهده بین نتایج به دست آمده مرای بلورهای رشد یافته به روش بریجمن است. تفاوتهای قابل مشاهده بین نتایج به دست آمده در این تحقیق با مقادیر گزارش شده در منابع میتواند ناشی از اندازهٔ کوچکتر بلورکها و حضور هستند [۶]. از آنجا که تنها تفاوت نمونهٔ ۲ با سایر نمونههای رشد داده شده به روش بریجمن، حجم آزاد بیشتر آمپول به کار رفته برای رشد نمونهٔ ۲ است، لذا میتوان نتیجه گرفت که خواص الکتریکی ترکیب، ارتباط تنگاتنگی با فشارهای جزئی حین رشد دارد. با افزایش حجم زارد آمپول، اختلاف دمای نقاط انتهایی آن میتواند قابل ملاحظه باشد که باعث خواهد شد تا فشار بخار کمتری بر مذاب وارد شود. این موضوع میتواند موجب گسترش نقصهای بلوری، از

گاف انرژی بلورهای رشد داده شده نیز اندازه گیری شد که برابر با ۱٫۲ eV به دست آمد. اختلاف این نتیجه با مقدار پیشبینی شده به روشهای نیمه تجربی (Eg ≅ ۱٫۵ eV]) حاکی از وجود ترازهایی ناشی از نقایص و ناخالصیها در گاف ممنوع ماده است.



شکل ۸ تصویر چند نمونه از بلورهای رشد یافته به روش ترابری فاز بخار.

روش رشد	x	نوع رسانندگی	مقاومت ویژه (Ω.cm)	تحرکپذیری (cm ^۲ /V.s)	تراکم حاملها (cm ^{-۳})
ریجمن (۱)	•,•*	р	14409,00	۳۶٬۰۵	۱,۱۷ ×۱۰ ^{۱۳}
ریجمن (۲)	•,•۴	р	1887,18	144,47	٣,١٨ ×١٠ ^{١٣}
ریجمن (۳)	•,•۴	р	14808,88	٣,١۵	۱٫۳۸ ×۱۰ ^{۱۴}
ریجمن (۴)	•,•۴	р	۳۰۰۵۱٬۲۰	۳۵٬۹۰	Δ_{I} Y9 × 1 · 17
از بخار	۰,۰۵	n	۱۹۹۸۸٫۲۷	۲۲٫۱	۲,۵۶×۱۰ ^{۱۴}
ریجمن [۲۱]	•,•۴	р	۲۲	-	1,•×1•10
ريجمن فشار بالا [۲۲]	•,••	р	۱,•×۱۰ ^۹	٨٠	-
ريجمن فشار بالا [۲۲]	•,••	n	۱×۱۰۹	111	-
نتقال فاز بخار در کپسول [۴]	۰,۰۵	-	۱×۱۰ ^۷	_	_

جدول ۳ مشخصه های الکتریکی و ترابری بلورهای Cd_{1-x}Zn _xTe در دمای اتاق.

جمع بندی

بلورهای Cd _{/45}Zn./.*Te به دو روش بریجمن و انتقال فاز بخار رشد داده شدند. بلورهای رشد یافته تک فاز و دارای خلوص بالا با ساختار دانهای هستند که با کاهش آهنگ رشد تا مقدار mm/h، تک بلورهای بزرگتری به دست میآیند. بدون توجه به قطر و شکل نوک آمپول در روش بریجمن، و با اینکه برای رشد بلورها از هستهٔ اولیه استفاده نمی شد، در رشد بلورها، هم از مذاب و هم از فاز بخار، راستای بلوری [۱۱۱] بر سایر سمتگیریها ارجحیت داشت. در روش بریجمن، با وجود کنترل فشارهای جزئی سازای ترکیب در فضای رشد، باز هم چگالی Zn و در نتیجه خواص مختلف ماده در حجم بلور ثابت نبودند. اما چون معمولاً تفکیک شعاعی Zn زیاد نیست، به منظور مشخصهیابی بلورها، نمونهها با برشهای عمودی بر راستای رشد تهیه شدند، تا دارای توزیع Zn نسبتاً یکنواختی باشند.

نمونههای مورد بررسی، چه آنها که به روش بریجمن رشد یافته بودند و چه بلورهای رشد یافته از فاز بخار، دارای مقاومتهای نسبتاً بالا (از مرتبهٔ Ω.cm ۱۰۴ٔ ۵) هستند. اما، گاف انرژی آنها کمتر از مقادیر گزارش شده (حدود ۱٫۵ eV) به دست آمد که میتواند ناشی از حضور مردانهها و ترکها در نمونهٔ مورد آزمایش باشد. زیرا مرزدانهها و ترکها، به طور معمول با Te، که دارای طبیعت فلزی و گاف انرژی نسبتاً پایین (۰٫۳۳ eV) است، پر میشوند. بر این اساس، پیشبینی میشود که با کاهش شیبهای دمایی و رشد تک بلورهای بزرگتر، بلورهایی با گاف انرژی و مقاومت ویژهٔ بزرگتر قابل رشد باشند.

درکل، نتایج نشان میدهد که دو روش به کار رفته برای رشد تک بلورهای CZT باورهای رشد تک بلورهای CZT با مقاومت نسبتاً بالا، روشهایی قابل قبولند. برای رشد تکبلورهای CZT درشتر، تدابیر زیر توصیه میشود. الف) به کارگیری کورهای چند منطقهای که قابلیت تنظیم شیبهای دمایی طولی و عرضی مناسب را داشته باشد. ب) ساخت بالابری که توانایی جابهجا کردن آمپول با سرعتهای کمتر را داشته باشد. ج) تدارک ساز و کاری برای چرخاندن نمونه حین پایین دادن آن، به نحوی که یکنواختی بیشتر مذاب و بلور حاصل شود.

مراجع

[1] Melnikov A.A., Sigov A.S., Vorotilov K.A., Davydov A.A., Topalova L.I., Zhavoronkov N.V., "Growth of CdZnTe single crystals for radiation detectors", J. Crystal Growth 197 (1999) 666.

[2] Shi-fu Zhu, Bei-jun Zhao, Qi-feng Li, Feng-liang Yu, Shuang-yun Shao, Xing-hua Zhu, "Modified growth of $Cd_{1-x}Zn_xTe$ single crystals", J. Crystal Growth 208 (2000) 264.

[3] Schlesinger T.E., Toney J.E., Yoon H., Lee E.Y., Brunett B.A., Franks L., James R.B., "*Cadmium zinc telluride and its use as a nuclear radiation detector material*", Mater. Sci. Eng. 32 (2001) 103.

[4] Eisen Y., Shor A., "CdTe and CdZnTe materials for room-temperature X-ray and gamma ray detectors", J. Crystal Growth 184/185 (1998) 1302.

[5] Rodríguez M.E., Gutiérrez A., Zelaya-Angel O., Vázquez C., Giraldo J., "Influence of crystalline quality on the thermal, optical and structural properties of Cd_{1-x}Zn_xTe for low zinc concentration", J. Crystal Growth 233 (2001) 275.

[6] Schieber M., Schlesinger T.E., James R.B., Hermon H., Yoon H., Goorski M., "Study of impurity segregation, crystallinity, and detector performance of melt-grown cadmium zinc telluride crystals", J. Crystal Growth 237 (2002) 2082.

[7] Kolesnikov N.N., Kolchin A.A., Alov D.L., Ivanov Yu.N., Chernov A.A., Schieber M., Hermon H., James R.B., Goorsky M.S., Yoon H., Toney J., Brunett B., Schlesinger T.E., "*Growth and characterization of p-type Cd*₁₋ $_xZn_xTe (x = 0.2, 0.3, 0.4)$ ", J. Crystal Growth 174 (1997) 256.

[8] Pérez Buenno J.J., Rodríguez M.E., Zelaya-Angel O., Baquero R., Gonzalez-Hernández J., Banos L., Fitzpatrick B.J., "Growth and characterization of $Cd_{1-x}Zn_xTe$ crystals with high Zn cocentrations", J. Crystal Growth 209 (2000) 701.

طباطبایی، علینژاد، تجبر

[9] Asahi T., Oda O., Taniguchi Y., Koyama A., "Growth and characterization of 100 mm diameter CdZnTe single crystals by the vertical gradient freezing method", J. Crystal Growth 161 (1996) 20.

[10] Sen S., Konkel W.H., Tinghe S.J., Bland L.G., Sharma S.R., Taylor R.E., "*Crystal growth of large-area single-crystal CdTe and CdZnTe by the computer-controlled vertical modified-Bridgman process*", J. Crystal Growth 86 (1988) 111.

[11] Cheuvart P., El-Hanani U., Schneider D., Triboulet R., "CdTe and CdZnTe crystal growth by horizonal Bridgman technique", J. Crystal Growth 101 (1990) 270.

[12] Grasza K., Grasza U.Z., Jedzejczak A., Galazka R.R., Majewski J., Szadkowski A., Grodzika E., "A novel method of crystal growth by physical vapour trasport and its application to CdTe", J. Crystal Growth 123 (1992) 519.

[13] Ohmori M., Iwase Y., Ohno R., "*High quality CdTe and its application to radiation detectors*", Mater. Sci. Eng. B 16 (1993) 283.

[14] Asahi T., Oda O., Taniguchi Y., Koyama A., "*Charactarization of 100 mm diameter CdZnTe single crystals grown by the verticalgradient freezing method*", J. Crystal Growth 149 (1995) 23.

[15] Neugebauer G.T., Shetty R., Ard C.K., Lancasteeer R.A., Norton P., "*Producibility of II-VI materials and davices*", Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 2228 (1994) 2.

[16] Wanwan Li, Wenbin Sang, Jihua Min, Fang Yu, Bin Zhang, Kunsu Wang, " $Cd_{1-x}Zn_xTe$ crystal growth controlled by Cd/Zn partial pressures", Semicond. Sci. Technol. 17 (2002) 55.

[17] Schieber M., James R.B., Hermon H., Vilensky A., Baydjanov I., Goorsky M., Lam T., Meerson E., Yao H.W., Erickson J., Cross E., Burger A., Ndap J.O., Wright G., Fiederle M., "Comparison of cadmium zinc telluride crystals grown by horizontal and vertical Bridgman and the vapor phase", J. Crystal Growth 231 (2001) 235.

[18] Shi-fu Zhu, *Bei*-jun Zhao, Qi-feng Li, Feng-liang Yu, Shuang-yun Shao, Xing-hua Zhu, "Modified growth of $Cd_{1-x}Zn_xTe$ single crystals", J. Crystal Growth 208 (2000) 264.

[19] Schroder D.K., "Semiconductor material and device characterization", John Wiley (1998).

[20] Mühlberg M., Rudolph P., Genzel C., Wermke B., Becker U., "Crystalline and chemical quality of CdTe and Cd_{1-x}Zn_xTe grown by the Bridgman method in low temperature gradients", J. Crystal Growth 101 (1990) 275.

[21] Bruder M., Schwarz H.J., Schmitt R., Maier H., Möller M.O., "Vertical Bridgman growth of $Cd_{1-y}Zn_yTe$ and characterization of substrates for use in $Hg_{1-x}Cd_xTe$ liquid phase epitaxy", J. Crystal Growth 101 (1990) 266.

Hg_{1-x}Cd_xTe liquid phase epitaxy", J. Crystal Growth 101 (1990) 266. [22] Ben-Dor L., Yellin N., "Vertical unseeded vapor growth and characterization of $Cd_{0.95}Zn_{0.05}Te\ crystals$ ", J. Crystal Growth 71 (1985) 519. [23] Muranevich A., Roitberg M., Finkman E., "Growth of CdTe single crystals", J. Crystal Growth 64 (1983) 285.

[24] Zhe Chuan Feng, "Semiconductor Interfaces and Microstructures", Institute of Physics, Bristol (1993).