

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
مَوْلَانَا مُحَمَّدٌ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ



دانشگاه سمنان

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد

موضوع:

رشد بلور KDP در جهت تولید هارمونیک دوم از محلول و بررسی
خواص فیزیکی آن

توسط:

فاطمه براتی

استاد راهنما:

دکتر حمید رضاقلی پوردیزجی

استاد مشاور:

خانم لیلا نادری

شهریور ۹۳



دانشگاه سمنان

دانشکده فیزیک
پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد

تحت عنوان:

رشد بلور KDP در جهت تولید هارمونیک دوم از محلول و بررسی
خواص فیزیکی آن

ارائه شده توسط:

فاطمه براتی

در تاریخ ۳۱ شهریورماه ۱۳۹۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

دکتر حمید رضاقلی پور دیزجی

خانم لیلا نادری

دکتر داود ثانوی خشنود

دکتر مجید جعفرتفرشی

۱- استاد راهنما

۲- استاد مشاور

۳- استاد داور داخلی

۴- استاد داور داخلی

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

ای پدر از تو هر چه می‌گویم باز هم کم می‌آورم
خورشیدی شدی و از روشنایی‌ات جان گرفتم و در ناامیدی‌ها ناام را کشیدی و لبریزم
کردی از شوق
اکنون حاصل دستان خسته‌ات رمز موفقیت‌م شد
به خودم تبریک می‌گویم که تو را دارم و دنیا با همه بزرگی‌اش مثل تو را ندارد...
و تو ای مادر، ای شوق زیبایی نفس کشیدن
ای روح مهربان هستی‌ام
تو رنگ شادی‌هایم شدی و لحظه‌ها را با تمام وجود از من دور کردی و عمری خستگی‌ها
را به جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش پیروزی را به من بچشانی

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

با تشکر و سپاس از استاد دانشمند و پر مایه ام جناب آقای دکتر حمید رضاقلی پور که از محضر پر فیض تدریس شان، بهره ها برده ام و با راهنمایی های بی شائبه و دلسوزانه ی خود موجبات پیشرفت این پایان نامه را فراهم کردند.

همچنین از آقای دکتر ملکی عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، به دلیل راهنمایی های ارزنده شان و آقای دکتر احسانی عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان بخاطر کمک های فراوانی که به اینجانب داشته اند و نیز خانم نادری به سبب همکاری با اینجانب، کمال تشکر را دارم.

در انتها از دوستان مهربانم، خانم ها: سپیده رادمان نیا، ناهید خیاط، امیر نجاران، نسیم فضلی، مرضیه جهان و ندا مداری به پاس همراهی صمیمانه شان سپاسگذارم.

چکیده

در این پایان نامه، ابتدا مقدمه‌ای در خصوص بلور و روش‌های رشد بیان می‌شود. سپس، در فصل دوم تولید هارمونیک دوم در بلور KDP توضیح داده شده است. در فصل سوم روش تک جهتی موسوم به Sankaranarayanan-Ramasamy (S-R) توصیف شده و مزایای رشد به این روش بیان گردیده است. در فصل پنجم بلور رشد یافته KDP توسط دستگاه اصلاح شده‌ی S-R بوسیله طیف‌نمایی UV-Vis، پراش اشعه ایکس، طیف FT-IR و سختی‌سنجی ویکرز و سونش سطح بررسی شدند. در فصل ششم نیز نتیجه و بحث در مورد این کار بیان گردیده است.

کلمات کلیدی: هارمونیک دوم، KDP، رشد بلور از محلول، SHG، UV-Vis، XRD، FT-IR، Microhardness, surface etching

فهرست مطالب

فصل ۱

- ۱.....مقدمه
- ۱-۱ معرفی جامدات بلوری و تاریخچهی آن.....۱
- ۱-۱-۱ انواع جامدات بلوری.....۲
- ۲-۱ مراحل رشد بلور.....۳
- ۳-۱ روش‌های رشد بلور.....۴
- ۱-۳-۱ رشد بلور از مذاب.....۴
- ۲-۳-۱ رشد بلور از بخار.....۵
- ۳-۳-۱ رشد بلور از محلول.....۶
- ۱-۳-۳-۱ رشد بلور از محلول در دمای بالا.....۶
- ۲-۳-۳-۱ رشد بلور از محلول در دمای پایین.....۸
- ۳-۳-۳-۱ رشد بلور از محلول فوق گرم شده (گرمابی).....۹

فصل ۲

- ۱۲.....شناخت بلور KDP و بررسی پدیدهی تولید هارمونیک دوم (SHG) در آن
- ۱-۲ مقدمه.....۱۲
- ۲-۲ معرفی بلور KDP.....۱۳
- ۳-۲ پدیدهی اپتیک غیر خطی.....۱۸
- ۱-۳-۲ نحوهی ایجاد پدیده‌های غیر خطی در محیط اپتیکی.....۱۹
- ۴-۲ بررسی تولید هارمونیک دوم.....۲۰
- ۱-۴-۲ بلور دو شکستی.....۲۲
- ۲-۴-۲ تولید هارمونیک دوم در بلور KDP.....۲۴

فصل ۳

۳۰	.....روش S-R
۳۰	.....۱-۳ مقدمه
۳۰	.....۲-۳ رشد بلور از محلول به روش S-R
۳۲	.....۱-۲-۳ تاریخچه روش S-R
۴۱	.....۲-۲-۳ مزایا و معایب روش S-R
	فصل ۴
۴۶	.....روش‌های شناسایی و آنالیز
۴۶	.....۱-۴ مقدمه
۴۷	.....۲-۴ پراش اشعه ایکس (XRD)
۴۸	.....۱-۲-۴ طیف سنجی پرتوی ایکس
۴۸	.....۲-۲-۴ کاربردهای XRD
۴۹	.....۱-۲-۲-۴ شناسایی مواد
۴۹	.....۲-۲-۲-۴ تعیین فاصله بین صفحات اتمی (d)
۵۰	.....۳-۲-۲-۴ تعیین ثابت شبکه
۵۰	.....۴-۲-۲-۴ تعیین اندازه بلورک‌ها
۵۱	.....۵-۲-۲-۴ اثر کرنش (فشار) شبکه بر روی موقعیت و پهنای قله
۵۲	.....۳-۴ طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR)
۵۳	.....۱-۳-۴ گسترده اشعه فروسرخ
۵۳	.....۲-۳-۴ فرآیند جذب فروسرخ
۵۴	.....۳-۳-۴ موارد استفاده از طیف فروسرخ
۵۵	.....۴-۳-۴ مراحل آماده سازی نمونه
۵۵	.....۵-۳-۴ مراحل آنالیز نمونه
۵۶	.....۶-۳-۴ مزایای FT-IR

- ۴-۴ طیف سنجی عبور نوری (UV-Vis)..... ۵۶
- ۴-۴-۱ برانگیختگی الکترونی..... ۵۸
- ۴-۴-۲ منشاء ساختمان نوار..... ۵۸
- ۴-۴-۳ اصل طیف سنجی جذب..... ۵۹
- ۴-۵-۵ سختی سنجی (میکرو سختی ویکرز)..... ۶۰
- ۴-۵-۱ روش انجام آزمون ویکرز..... ۶۱
- ۴-۵-۲ تحلیل آزمون ویکرز..... ۶۱
- ۴-۵-۳ مزایا و معایب آزمون ویکرز..... ۶۲
- ۴-۶-۶ سونش سطح..... ۶۲
- ۴-۶-۱ سونش شیمیایی مرطوب..... ۶۳
- ۴-۶-۲ کاربردهای سونش سطح..... ۶۳

فصل ۵

- رشد بلور KDP در جهت تولید هارمونیک دوم و بررسی کیفی آن..... ۶۷
- ۵-۱ مقدمه..... ۶۷
- ۵-۲ تجهیزات آزمایشگاهی رشد بلور..... ۶۸
- ۵-۲-۱ محفظه شیشه‌ای و سرپوش آن..... ۶۸
- ۵-۲-۲ آمپول رشد..... ۶۹
- ۵-۲-۳ گرمکن های حلقوی..... ۶۹
- ۵-۲-۴ ترموکوپل (حسگر دمایی)..... ۷۰
- ۵-۲-۵ تنظیم کننده دمایی (رگولاتور)..... ۷۰
- ۵-۲-۶ سیستم تأمین کننده برق اضطراری (UPS)..... ۷۲
- ۵-۲-۷ آب دیونیزه و آب مقطر..... ۷۳
- ۵-۲-۸ ترازوی دیجیتال..... ۷۳

۷۴	۳-۵ مراحل آزمایش.....
۷۴	۱-۳-۵ تهیه محلول اشباع.....
۷۵	۲-۳-۵ تهیه بلور دانه.....
۷۷	۳-۳-۵ رشد بلور.....
۷۷	۱-۳-۳-۵ رشد بلور KDP در جهت هارمونیک دوم.....
۸۰	۴-۵ بررسی کیفی بلور های رشد یافته.....
۸۰	۱-۴-۵ بررسی اپتیکی.....
۸۰	۲-۴-۵ بررسی ساختاری.....
۸۱	۳-۴-۵ طیف سنجی فرسرخ تبدیل فوریه (FT-IR).....
۸۲	۴-۴-۵ سونش سطح.....
۸۳	۵-۴-۵ سختی سنجی ویکرز.....
۸۴	۶-۴-۵ تولید هارمونیک.....
۹۱	نتیجه گیری و پیشنهادها.....
۹۳	مراجع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ نمایشی از شکل بلور KDP در یک سیستم کنترل نشده..... ۱۷
- شکل ۲-۲ طرح شماتیکی از ترکیب اتم‌های سطوح (۱۰۰) و (۱۰۱) از بلور KDP..... ۱۷
- شکل ۳-۲ پدیده‌ی هارمونیک دوم (a): هندسه تولید هارمونیک دوم و (b): دیاگرام تراز انرژی که تولید هارمونیک دوم را توصیف می‌کند..... ۲۰
- شکل ۴-۲ پاسخ نوعی، خطی و غیر خطی قطبیدگی P به میدان الکتریکی اعمال شده..... ۲۱
- شکل ۵-۲ تولید هارمونیک دوم و یک مولفه ثابت..... ۲۱
- شکل ۶-۲ تولید هارمونیک..... ۲۲
- شکل ۷-۲ میدان اپتیکی و پلاریزاسیون حاصل از آن..... ۲۲
- شکل ۸-۲ (a): بلور دوشکستی منفی و (b): بلور دوشکستی مثبت..... ۲۳
- شکل ۹-۲ منشور نیکول..... ۲۳
- شکل ۱۰-۲ جورشدگی فاز..... ۲۴
- شکل ۱۱-۲ تولید بسامد دو برابر در بلور KDP..... ۲۵
- شکل ۱۲-۲ SHG نوع اول در حالت eeo..... ۲۷
- شکل ۱۳-۲ تولید هارمونیک دوم در بلور KDP از نوع دوم..... ۲۷
- شکل ۱-۳ طرح‌واره‌ای از فرم اصلی دستگاه S-R..... ۳۳
- شکل ۲-۳ دستگاه اصلاح شده S-R..... ۳۴
- شکل ۳-۳ دستگاه اصلاح شده روش S-R..... ۳۴
- شکل ۴-۳ مخزن رشد بلور سولفامیک اسید..... ۳۵
- شکل ۵-۳ دستگاه اصلاح شده S-R برای رشد بلور لیتیم پارانیترنات فنولات تری هیدرات..... ۳۶
- شکل ۶-۳ دستگاه اصلاح شده رشد بلور پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات..... ۳۷
- شکل ۷-۳ دستگاه اصلاح شده S-R برای رشد تک جهتی بلور L-آلانین..... ۳۷
- شکل ۸-۳ دستگاه اصلاح شده روش S-R..... ۳۹
- شکل ۹-۳ طرحی از دستگاه اصلاح شده روش S-R..... ۳۹
- شکل ۱۰-۳ طرحی از دستگاه رشد بلور KDP در جهت هارمونیک دوم..... ۴۱
- شکل ۱-۴ پراش پرتوی ایکس..... ۴۷
- شکل ۲-۴ فیلم نقش پراش خطی در روش پودری..... ۴۸
- شکل ۳-۴ الگوی پراش NaCl..... ۵۰

- شکل ۴-۴ تعیین اندازه‌ی بلورک‌ها به وسیله XRD..... ۵۱
- شکل ۴-۵ اثر فشار شبکه بر روی قله..... ۵۲
- شکل ۴-۶ طیف الکترومغناطیس..... ۵۳
- شکل ۴-۷ انتقالات ترازهای انرژی الکترونی..... ۵۸
- شکل ۴-۸ آزمایش ویکرز..... ۶۱
- شکل ۵-۱ حمام آبی و سرپوش آن..... ۶۸
- شکل ۵-۲ آمپول رشد..... ۶۹
- شکل ۵-۳ گرمکن‌های حلقوی..... ۷۰
- شکل ۵-۴ کنترل کننده‌ی دمایی..... ۷۱
- شکل ۵-۵ شیوه نصب دستگاه..... ۷۱
- شکل ۵-۶ ترانسفورماتور، آمپر متر، تنظیم کننده‌ی دمایی و ترموکوپل مورد استفاده در آزمایش..... ۷۲
- شکل ۵-۷ نمودار حاصل از داده‌ها..... ۷۴
- شکل ۵-۸ بلور دانه‌های نامرغوب..... ۷۶
- شکل ۵-۹ بلور دانه‌های شفاف..... ۷۶
- شکل ۵-۱۰ بلور دانه‌های بزرگ شفاف..... ۷۷
- شکل ۵-۱۱ بلور دانه‌ی برش داده شده برای قرارگیری در انتهای آمپول..... ۷۷
- شکل ۵-۱۲ طرحی از دستگاه S-R استفاده شده در این پایان نامه..... ۷۸
- شکل ۵-۱۳ بلور KDP در حال رشد..... ۷۸
- شکل ۵-۱۴ بلور رشد یافته KDP در آمپول رشد و پس از خروج از آن..... ۷۹
- شکل ۵-۱۵ بلور برش خورده KDP..... ۷۹
- شکل ۵-۱۶ منحنی عبوردهی نوری KDP رشد یافته، (a): در راستای c و (b): در جهت هارمونیک دوم..... ۸۰
- شکل ۵-۱۷ الگوی پراش اشعه ایکس بلور KDP..... ۸۱
- شکل ۵-۱۸ طیف FT-IR حاصل از بلور KDP..... ۸۲
- شکل ۵-۱۹ سونش سطح بلور رشد یافته در جهت هارمونیک دوم (ب): در محلول زیر اشباع KDP و (ج): در آب دیونیزه..... ۸۲
- شکل ۵-۲۰ سونش در راستای c (ب): در محلول زیر اشباع شده KDP و (ج): در آب دیونیزه..... ۸۳
- شکل ۵-۲۱ سختی سنجی بلور KDP (a): در جهت هارمونیک دوم و (b): در راستای c..... ۸۳

فهرست جدول‌ها

۱۳.....	جدول ۱-۲ خواص بلور KDP
۵۴.....	جدول ۱-۴ جذب پیوندهای مختلف
۷۴.....	جدول ۱-۵ جدول حلالیت KDP در دماهای مختلف

فصل اول

مقدمه

۱-۱ معرفی جامدات بلوری و تاریخچه آن

به مواد جامدی که اجزای سازندهی آنها (مولکول، اتم یا یون‌ها) در سه جهت فضایی به صورت منظمی کنار هم قرار گرفته باشند، کریستال یا بلور می‌گویند. ساختارهای بلورین نظم بلند دامنه داشته و خواص ناهمسانگرد دارند. بلورهای نیمرسانا که برای ساخت قطعات الکترونیکی و مدارهای مجتمع استفاده می‌شوند، باید به صورت دقیق رشد داده شده و ناخالصی‌های آنها جدا گردد.

پیشرفت فناوری قطعات حالت جامد نه تنها به توسعه مفاهیم قطعات الکترونیکی بلکه به بهبود مواد نیز وابسته بوده است. شرایط رشد بلورهای نیمرسانا که برای ساخت قطعات الکترونیک استفاده می‌شود، بسیار دقیق‌تر و مشکل‌تر از سایر مواد است. علاوه بر این که نیمرساناها باید به صورت تک بلورهای بزرگ در دسترس باشند، باید خلوص آنها نیز در محدوده بسیار ظریفی کنترل شود. مثلاً تراکم بیشتر ناخالصی‌های

مورد استفاده در بلورهای سیلیسیوم فعلی از یک قسمت در ده میلیارد کمتر است. چنین درجاتی از خلوص، مستلزم دقت بسیار در استفاده و بکارگیری مواد در هر مرحله از فرآیند ساخت است. اولین ارجاع به آرایش منظم ذرات سازنده بلورها در آثار ستاره‌شناس مشهور ج. کپلر (۱۶۱۹) و رابرت هوک (۱۶۶۵) کاشف میکروسکوپ یافت می‌شود. مدتی بعد دانشمند مشهور کریستین هوگنز (۱۶۹۰) خواص نوری بلورهای کلسیت (CaCO_3) را بررسی کرده و فرضیه‌ای را ارائه کرد که بلورها از ذرات بسیار کوچکی با شکل مشخص ساخته شده‌اند. پس از آن م. و. اومونوسوف (۱۷۶۵-۱۷۱۱) نظریه ذره‌ای ساختار مواد را کامل کرد. او فرض کرد که ذرات شکل کروی داشته باشند. رشد سیلیسیوم تک بلور اولین بار در آغاز و میانه دهه ۱۹۵۰ انجام گرفت که هم اکنون نیز در ساخت مدارهای مجتمع از آن استفاده می‌شود [۱، ۲].

۱-۱-۱ انواع جامدات بلوری

جامدات بلوری بر حسب ذرات تشکیل دهنده شبکه بلور به گروه‌های زیر تقسیم می‌شوند.

الف) جامدات یونی

اجزای تشکیل دهنده ساختار این بلور، یون‌ها هستند. استقرار یون‌ها در یک بلور بر طبق یک الگوی هندسی معین است. ساختمان بلوری چنان است که نیروهای جاذبه بین یون‌های مثبت و منفی به مراتب بیشتر از نیروهای دافعه بین یون‌هایی است که بار مشابه دارند. ترکیبات یونی در دمای اتاق جامدند و نقطه ذوب بالایی دارند و در حالت مذاب یا بصورت محلول‌های آبی رسانای خوب الکتریسیته هستند.

ب) جامدات مولکولی

نقاط شبکه‌ای در بلور ترکیبات کووالانسی توسط مولکول‌ها اشغال شده‌اند و نیروهای بین مولکولی که مولکول‌ها را در شبکه نگه می‌دارند، به اندازه نیروهای الکترواستاتیکی که در بلورهای یونی مشاهده می‌شوند، قوی نیستند. از این رو بلورهای مولکولی نرم و دارای نقاط ذوب پایین هستند نارسانا هستند و یا ممکن است جامدات مولکولی قطبی در حالت مذاب رسانایی اندکی داشته باشند.

ج) بلورهای شبکه‌ای (بلورهای اتمی)

در ساختمان این بلورها نقاط شبکه‌ای توسط اتم‌هایی اشغال شده‌اند که با شبکه‌ای از پیوندهای کووالانسی به هم متصل می‌شوند. در این بلورها تشخیص یون‌ها از بلورها غیرممکن است. در واقع کل بلور را می‌توان به عنوان یک مولکول عظیم تصور کرد. به همین دلیل گاهی به آن‌ها مواد درشت مولکولی هم می‌گویند. الماس مثالی از این نوع بلورهاست که در آن اتم‌های کربن توسط پیوندهای کووالانسی در یک ساختمان سه بعدی به هم متصل هستند.

این مواد نقاط ذوب و جوش بالا دارند، فوق العاده سخت بوده و نارسانا هستند و در تمام حلال‌های معمولی نامحلولند و این به علت داشتن پیوندهای کووالانسی فراوان آنهاست که برای فرو ریختن ساختمان بلوری باید گسسته شوند.

د) بلورهای فلزی

شبکه بلوری این جامدات از اتم‌های فلزی (یون‌های مثبت و الکترون‌های متحرک آنها) تشکیل شده است. پیوند فلزی پیوند قوی است و به این علت است که یون‌های مثبت بصورت تنگاتنگ در شبکه بلوری کنار هم و در میان الکترون‌های متحرک قرار گرفته‌اند. این جامدات، چگالی بالا و نقطه ذوب بالایی دارند و رسانای گرمایی و الکتریکی خوبی هستند.

۱-۲ مراحل رشد بلور

رشد بلورها محصولی از دو مرحله می‌باشد. مرحله اول شامل تشکیل هسته‌ی رشد به اندازه‌ی میکروسکوپی است که یک پدیده‌ی مهم در رشد بلور محسوب می‌شود و مرحله‌ی دوم عبارت است از رشد متوالی و پی در پی این هسته‌ها تا اینکه صفحات قابل تشخیص حاصل شود که سرانجام منجر به تشکیل یک بلور می‌شود. اندازه و بر روی هم چیده شدن درونی^۱ اتم‌های بلور توسط ماهیت بلور و شرایط رشد تعیین می‌شوند.

بنابراین به طور کلی می‌توان گفت چهار مرحله در تشکیل هسته پایدار دیده می‌شود:

۱. ایجاد شرایط ابراشباع: ابر اشباع یعنی غلظت ماده حل شده بیشتر از مقدار تعادلی آن باشد و این شرایط را می‌توان از طریق واکنش شیمیایی، تغییر در فشار، حرارت یا هر شرایط فیزیکی و شیمیایی دیگری بوجود آورد.
۲. تولید جنین^۲: این مرحله ممکن است بطور خودبخودی^۳ -اتم‌ها یا مولکول‌ها درون سیستم به هم ملحق می‌شوند- یا غیر خودبخودی^۴ -اتم‌ها یا مولکول‌ها از یک بستری نظیر ناخالصی (مثل ذرات غبار)، بدنه‌ی ظرف، عامل خارجی (مثل نخ‌ی که در ظرف آویزان می‌کنیم) برای به هم پیوستن استفاده می‌کنند- انجام پذیرد.
۳. رشد جنین از حالت ناپایدار^۵ یا نیمه پایدار^۶ به سمت یک اندازه بحرانی.
۴. فرایند استقرار^۷ یا به آرامش رسیدن: آخرین مرحله در فرایند تشکیل هسته پایدار می‌باشد که یک فاز در دل فاز دیگر مشاهده می‌شود [۱، ۲].

^۱Internal stacking

^۲Embryo

^۳Spontaneous

^۴Artificial

^۵Unstable

^۶Metastable

^۷Relaxation process

۳-۱ روش‌های رشد بلور

ایده اولیه تمامی روش‌های رشد از طبیعت گرفته شده است، آشنایی با خواص فیزیکی نظیر نقطه ذوب، نقطه جوش، چگالی، ضریب انبساط گرمایی، قابلیت واکنش با سایر مواد، طبیعت الکترونی مواد و نظایر آن در تعیین روش رشد ضروری است.

رشد بلور در سه فاز مختلف صورت می‌پذیرد که عبارتند از:

فرایند رشد بلور از فاز جامد

فرایند رشد بلور از فاز مایع

فرایند رشد بلور از فاز بخار

به طور کلی سه روش برای رشد بلور از فاز مایع وجود دارد؛ رشد بلور از بخار^۱، رشد بلور از مذاب^۲، رشد بلور از محلول^۳ که در زیر به طور مختصر توضیحاتی داده می‌شود.

۱-۳-۱ رشد بلور از مذاب

رشد از مذاب شامل ذوب شدن مواد و انجماد مجدد این مواد می‌باشد که عمل بلوری شدن یا سرد کردن مایع در زیر نقطه‌ی انجماد آن صورت می‌پذیرد.

در این روش جدای از احتمال آلوده شدن به وسیله‌ی مواد بوته و محیط احاطه کننده، ناخالصی‌های دیگری به فرایند رشد وارد نشده و آهنگ رشد معمولاً خیلی بیشتر از آهنگ رشد توسط سایر روش‌ها می‌باشد.

به علت بالا بودن آهنگ رشد در این فاز، رشد از فاز مذاب از نظر تجاری مهم‌ترین روش رشد بلور می‌باشد. بلورهای رشد داده شده به این روش در زمینه‌ی ارتباطات، رایانه، لیزر، اپتوالکترونیک و صنایع نیمرسانا و از بلورهای با ابعاد بزرگ به عنوان میله در لیزرها و به عنوان زیر لایه برای قطعات نیمرسانا، سلول‌های خورشیدی، آشکارسازهای فرسرخ و پنجره‌های اپتیکی و... استفاده می‌شود [۱، ۲].

روش‌های رشد از مذاب:

روش بریجمن^۴

روش چکرالسکی^۵

روش ورنوئیل یا ذوب شعله‌ای^۶

روش منطقه شناور یا ذوب ناحیه‌ای^۷

⁴Growth from Vapor

⁵Growth from Melt

⁶Growth from Solution

¹Bridgman technique

²Czochralski technique

³Verneuil technique

⁴Zone melting technique

روش تبادل گرمایی ۱

۱-۳-۲ رشد بلور از بخار

روشی قابل تغییر و انعطاف پذیر است که بلورهای حاصله از آن دارای درجه خلوص بالا هستند و قابل استفاده برای موادی که دارای نقطه ذوب بالا بوده یا در نقطه ذوبشان تجزیه می‌شوند می‌باشد. فاز گاز می‌تواند شامل مولکول‌های ماده بلوری و یا اجزای تشکیل دهنده بلور باشد. این اجزا می‌توانند قابل تبخیر و یا با یک عامل حامل واکنش نموده و نمونه قابل تبخیر تولید کنند. رشد از فاز بخار به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شود:

۱. روشی که در آن مواد اولیه بدون هیچ عاملی و فقط از طریق فرایند نفوذ منتقل می‌شوند؛ مانند تصعید.
 ۲. روشی که در آن برای انتقال مواد اولیه گاز حاملی وجود دارد ولی هیچ واکنشی بین گاز و ماده صورت نمی‌پذیرد؛ مانند PVD^۲ و PVT^۳.
 ۳. روشی که در آن مواد اولیه از طریق یک عامل انتقال دهنده منتقل می‌شوند و بین گاز و ماده واکنش صورت می‌پذیرد؛ مانند CVD^۴ و CVT^۵.
- مزایای این روش عبارتند از:

۱. فرآیند رشد در دماهایی بسیار پایین‌تر از دمای ذوب مواد انجام می‌پذیرد.
 ۲. کاهش آلودگی ناشی از بوته به علت کاهش دمای رشد.
 ۳. امکان کنترل خوب استوکیومتری.
 ۴. امکان رشد لایه‌ها به صورت رونشستی^۶
 ۵. تمیز نمودن زیر لایه و سیستم توسط بخار شیمیایی در حال رشد.
 ۶. پایدار بودن مرز مشترک جامد-بخار نسبت به مرز مشترک جامد-مذاب در حین رشد.
- محدودیت‌های این روش به طور مختصر شامل:

۱. ترمودینامیک و سنتیک واکنش‌ها در این روش پیچیده است.
۲. نشست علاوه بر زیرلایه بر روی دیواره‌های محفظه انجام می‌پذیرد.
۳. گازهای واکنشی در بعضی حالت‌ها خطرناک بوده و نیاز به تجهیزات مخصوص دارد [۱، ۲].

^۵Heat exchanger method technique

^۶Physical Vapor Deposition

^۷Physical Vapor Transport

^۸Chemical Vapour Deposition

^۹Chemical Vapour Transport

^۱Epitaxy

۱-۳-۳ رشد بلور از محلول

ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش رشد بلور، رشد از محلول است. در طبیعت تشکیل نمک‌ها در لایه‌های مختلف زمین و کنار دریاچه‌ها و دریاها رشد بلور از محلول را نشان می‌دهد. از این روش برای رشد موادی که هنگام حرارت تجزیه می‌شوند و یا هنگام سرد کردن از نقطه ذوب، تغییرات ساختاری از خود بروز می‌دهند، استفاده می‌شود.

از مزایای رشد بلور از محلول این است که بلور می‌تواند آزادانه و دور از فشارهای مکانیکی و حرارتی در محلول رشد کند. از معایب آن می‌توان به ناخالصی‌ها، آلاینده‌های ناهمسان و نرخ رشد کم و مشکلات ظرف اشاره کرد [۳]. رشد بلور از محلول با توجه به خواص و ویژگی‌های حلال و ماده‌ی حل شونده به دو دسته تقسیم می‌شود که این دو دسته عبارتند از:

- رشد بلور از محلول در دمای بالا (HTS)^۲
- رشد بلور از محلول در دمای پایین (LTS)^۳
- رشد بلور از محلول فوق گرم شده (گرماپی)^۴

و عوامل تأثیرگذار در رشد بلور از محلول را می‌توان به صورت زیر ذکر کرد:

درجه فوق اشباع

وجود ناخالصی و افزود

میزان pH محلول

دما

استفاده از بلور دانه‌ی مناسب

هم زدن پیوسته محلول

تغییر غلظت محلول

جذب سطحی ذرات خارجی

اثر ساختار نطفه‌های اولیه

۱-۳-۳-۱ رشد بلور از محلول در دمای بالا

در روش HTS، مواد تشکیل دهنده برای متبلور شدن در حلالی مناسب حل می‌شوند و محلول به یکی از روش‌های تبخیر حلال، سرد شدن محلول و یا گرادیان دمایی فوق اشباع می‌گردد. در این روش به جای مایع از محلول جامد به عنوان حلال استفاده می‌شود. این روش به طور گسترده برای رشد بلورهای اکسیدی بکار می‌رود. بجز ترکیبات آلی و هیدرات‌ها و ترکیباتی که در دمای پایین تجزیه می‌شوند، به نظر

^۲High Temperature Solution Growth

^۳Low Temperature Solution Growth

^۴Hydrothermal method

می‌رسد تمامی بلورها را بتوان به این روش رشد داد. مواد رشد داده شده به این روش پایین‌ترین چگالی دررفتگی را دارند.

در این روش دو نوع حلال مدنظر می‌باشد:

- حلال‌های فلزی (گالیم، ایندیم و قلع): برای رشد دادن نیمرساناها مفید می‌باشد.
- حلال‌های اکسید و هالید (PbO و PbF_2): برای رشد دادن بلورهای یونی است.

روش رشد در دمای بالا همچنین به نام Flux نیز معروف است.

به طور مختصر موادی با ویژگی‌های زیر به این روش رشد داده می‌شوند:

- آن‌هایی که به طور ناپیوسته ذوب می‌شوند، این دسته از مواد قبل از ذوب شدن تجزیه می‌شوند.
- موادی که در مقابل تغییر شکل در برابر فشار و یا شکستگی تحمل دارند.

معروف‌ترین روش رشد بلور از محلول در دمای بالا، روش رونشستی از فاز مایع نام دارد (LPE)^۱ در روش LPE پس از آماده کردن محلول اشباع، یک زیرلایه (substrate) با محلول تماس داده می‌شود و سپس دما به تدریج و با سرعت معینی کاسته می‌شود تا اینکه بلور بر روی زیرلایه شروع به رشد نماید. بعد از یک مدت زمان معین که ضخامت مناسبی از لایه روی بستر یا زیرلایه رشد کرد، اتصال میان محلول و زیرلایه قطع می‌گردد.

روش LPE به سه طریق انجام می‌گیرد:

- روش کچ کردن (Tipping)
- روش فرو بردن (Dipping)
- روش لغزاندن (Sliding)

از روش LPE برای ساخت لیزرهای حالت جامد، سلول‌های خورشیدی، دیودهای خارج کننده‌ی نور، فتو ترانزیستورها، فتو آشکارسازها و... استفاده می‌شود.

بلورهایی که از محلول در دمای بالا رشد داده می‌شوند، هم برای تحقیقات علمی و هم صنعتی استفاده

می‌شوند. موادی که در صنعت از محلول در دمای بالا متبلور می‌شوند، به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند:

- اکسیدهای مغناطیسی
- لیزر
- سنگ‌های زینتی
- قطعات نیمرسانا
- مواد اپتیکی غیر خطی [۳، ۴]

^۱Liquid Phase Epitaxi