

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: اتمی و مولکولی

عنوان:

مطالعه پاسخ EPR نانو بلور هیدروکسی اپتایت دوپه شده با

کربن به روش نفوذ گازی

استاد راهنما:

دکتر فرهود ضیائی

استاد مشاور:

دکتر مجید مجتهد زاده لاریجانی

پژوهشگر:

حمیده مشعل چیان

تابستان ۱۳۹۱

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب حمیده مشعل چیان دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد نا پیوسته به شماره دانشجویی ۸۸۰۸۳۸۲۴۰۰۰ در رشته فیزیک اتمی که در تاریخ ۹۱/۰۷/۰۴ از پایان نامه خود تحت عنوان : مطالعه پاسخ EPR نانو بلور هیدروکسی اپتایت دوپه شده با کربن به روش نفوذ گازی با کسب نمره و درجه دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم :

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه ، کتاب ، مقاله و ...) استفاده نموده ام ، مطابق ضوابط و رویه های موجود ، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام .

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح ، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است .

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل ، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب ، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم .

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود ، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

نام و نام خانوادگی :

تاریخ و امضاء :

بسمه تعالی

در تاریخ ۹۱/۰۷/۰۴ دانشجوی کارشناسی ارشد آقای / خانم : حمیده مشعل چیان از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره بحروف و با درجه مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

تقدیم به :

دو آینه بی زنگار زندگی

پدر عزیز

و

مادر مهربانم

به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

تشکر و قدردانی:

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

و با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم ...

موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

و همسر، همدلی که محیطی سرشار از سلامت، امنیت و آرامش را برای من فراهم آورده و همواره مرا در رسیدن به اهداف عالی یاری می رساند.

بسیار سپاسگذارم از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر مجید مجتهدزاده لاریجانی، به پاس زحمات بی حدشان در مشاوره این پایان نامه.

و تقدیر و تشکر فراوان دارم از استاد فرهیخته و بزرگوار جناب آقای دکتر فرهود ضیائی که در طول انجام این پروژه با نکته های دلاویز و گفته های بلندشان، صحیفه های سخن را علم پرور نمودند و راهنمائیهای ارزشمند و بی دریغشان، توأم با حسن اخلاق و سعه صدر، همواره راهگشای اینجانب در اتمام و اكمال این پروژه بوده است.

و در پایان از کلیه پرسنل و تکنسین های پژوهشکده کشاورزی- پزشکی- صنعتی کرج و همه عزیزانی که در انجام این پروژه صمیمانه یاری رسان اینجانب بوده اند کمال تشکر را دارم.

فرم اطلاعات پایان نامه های کارشناسی ارشد

دانشکده علوم پایه

نام واحد دانشگاهی: تهران مرکزی	کد واحد: ۱۰۱	کد شناسایی پایان نامه: ۱۰۱۳۰۲۱۰۹۰۱۰۰۳
نام و نام خانوادگی دانشجو: حمیده مشعل چیان	شماره دانشجویی: ۸۸۰۸۳۸۲۴۰۰۰	سال و نیمسال اخذ پایان نامه: نیمسال دوم ۹۰-۸۹
عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد: مطالعه پاسخ EPR نانو بلور هیدروکسی اپتایت دوپه شده با کربن به روش نفوذ گازی		
نام و نام خانوادگی استاد راهنما: دکتر فرهود ضیائی	نام و نام خانوادگی استاد مشاور: دکتر مجید مجتهد زاده لاریجانی	
تعداد واحد پایان نامه: ۶	تاریخ صدور کد شناسایی: ۹۰/۰۸/۱۱	نمره پایان نامه دانشجو(از ۱۸ نمره)
تاریخ دفاع از پایان نامه: ۹۱/۰۷/۰۴	تاریخ ارائه مقاله:	به عدد: به حروف:
		نمره مقاله دانشجو(از ۲ نمره)
		به عدد: به حروف:
چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اهداف، روش های اجرا و نتایج به دست آمده):		
<p>در این پژوهش نمونه های نانو ساختار هیدروکسی اپتایت با قرار گرفتن در مجاورت گاز CO_2 در زمانهای ۳۰ و ۱۲۰ و ۳۶۰ دقیقه تحت درجه حرارت $400^{\circ}C$ و $100^{\circ}C$ کربناته شدند. تشکیل کربن اپتایت به روش قرار دادن نمونه ها تحت نفوذ گاز CO_2، توسط آزمونهای XRD، FTIR، TEM، مورد تأیید قرار گرفت. سپس نمونه ها تحت تابش چشمه $^{60}Co \gamma$-ray قرار گرفتند و شدت سیگنال EPR آنها در دزهای 2، 5، 10، 20، 50 و 80 kGy اندازه گرفته شد. نتایج طیف سنجی EPR نمونه ها نشان می دهد که در دماهای پائین تر، پاسخ منظمی برای شدت سیگنال EPR وجود ندارد، اما در دمای $400^{\circ}C$ شدت سیگنال EPR افزایش می یابد. این افزایش به ازای دزهای کم تر از 2۰ kGy، مشاهده می شود و در دزهای بالاتر اشباع صورت می گیرد، پاسخ EPR به ازای دزهای کمتر از 5 kGy، در مقایسه با نمونه های خام بسیار بهتر بوده و خطی می باشد. در واقع استفاده از روش نفوذ گازی برای دزهای پایین تر از 5 kGy کارآمد است.</p>		

امضاء ریاست دانشکده:

امضاء مدیر گروه:

امضاء استاد راهنما:

تاریخ

تاریخ

تاریخ

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول : مبانی نظری و کلیات

۱-۱- مبانی نظری پخش	۱
1-1-1 مقدمه	۱
۲-۱-۱- نظریه فرایند پخش	۲
۳-۱-۱- چگونگی پخش	۲
۴-۱-۱- مکانیسم های پخش جاهای خالی و پخش بین نشین	۲
۵-۱-۱- قانون فیک	۳
۶-۱-۱- کاستی ها یا عیوب شبکه بلوری	۴
۷-۱-۱- انواع نقص ها در شبکه بلوری	۷
۲-۱- مبانی نظری EPR	۱۳
1-2-1 مقدمه	۱۳
2-2-۱- آزمایش اشترن- گراخ	۱۵
۳-2-۱- رادیکالهای آزاد	۱۹
۴-2-۱- اثر زیمن	۲۱

۲۳	۱-2-5- اصول فیزیکی تشدید.....
۲۴	۱-2-6- شدت سیگنال.....
۲۵	۱-2-7- نقطه اشباع.....
۲۶	۱-2-8- مقدمه ای بر دستگاه اسپکترومتر EPR.....
۳۴	۱-2-9- کاربردهای دستگاه EPR.....

فصل دوم : مطالعات انجام شده

۳۷	۲-1-1- هیدروکسی آپاتیت HAP.....
۳۷	2-1-1- مقدمه.....
۳۸	۲-1-2- کاربردها.....
۳۸	۲-1-3- خواص و ویژگی ها.....
۴۱	۲-1-4- ساختار عمومی و خواص کلسیم هیدروکسی اپتایت.....
۴۳	۲-1-5- ساختار استخوان.....
۴۴	۲-1-6- روش های تولید هیدروکسی اپتایت.....
۴۵	۲-1-7- کربن اپتایت:(CHA).....
۴۶	۲-2- مروری بر مقالات مطالعه شده.....

فصل سوم: روش انجام کار و آزمونها

۴۸	3-1- تهیه کربن اپتایت به روش نفوذ گازی.....
۵۰	۳-2- طیف سنج پراش پرتو X (XRD).....

۲-۳- میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) ۵۳

۳-۳- طیف سنجی جذبی به کمک پرتو فروسرخ (FTIR) ۵۵

۱-۳-۳- آماده سازی نمونه ها جهت طیف سنجی FTIR ۵۶

۴-۳- پرتودهی نمونه ها توسط چشمه گاما ۵۷

۵-۳- اندازه گیری توسط دستگاه EPR ۵۸

فصل چهارم : شکلها، نتایج و بحث

۱-۴- مشخصه یابی نمونه های کربن اپتایت تهیه شده ۵۹

۱-۱-۴- نتایج آنالیز XRD ۵۹

۲-۱-۴- نتایج آنالیز FTIR ۶۶

۳-۱-۴- نتایج TEM ۶۹

۲-۴- تغییرات شدت سیگنال EPR در مقابل دز جذبی پرتو ۷۰

فصل پنجم : نتیجه گیری ۷۴

پیوست ۷۶

فهرست مراجع و ماخذ ۷۹

فهرست جدولها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۹.....	جدول ۱-۲ : درصد وزنی اجزاء تشکیل دهنده هیدروکسی اپتایت.....
۳۹.....	جدول ۲-۲: برخی خواص فیزیکی و مکانیکی هیدروکسی اپتایت.....
۴۰.....	جدول ۳-۲: هم خانواده های هیدروکسی اپتایت.....
۴۴.....	جدول ۴-۲: خواص مکانیکی استخوان.....
۵۰.....	جدول ۱-۳: دستگاهها و وسایل مورد نیاز در تهیه کربن اپتایت.....
۶۵.....	جدول ۱-۴: ویژگی های پیک ۰۰۲ در نمونه های قرار داده شده در کوره.....

فهرست شکلها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
2	شکل-۱: توصیف ساز و کار پخش
3	شکل-۲: مکانیسمهای پخش اتمی
9	شکل-۳: طرحی ساده از یک شبکه بلوری کامل
9	شکل-۴: طرحی ساده از بین نشینی اتم های خودی
10	شکل-۵: طرحی ساده از بین نشینی یون های غریبه
10	شکل-۶: طرحی ساده از یک شبکه بلوری کامل
11	شکل-۷: طرحی ساده از بین نشینی یون های غریبه
15	شکل-۸: طیف EPR
17	شکل-۹: مغناطیس بکار رفته در آزمایش اشترن گِراخ
18	شکل-۱۰: اتم های نقره در میدان مغناطیسی یکنواخت و غیریکنواخت
20	شکل-۱۱: طرحی از یک رادیکال آزاد
20	شکل-۱۲: یک ترکیب دارای رادیکال
۲۲	شکل-۱۳: جهت های ماکسیمم و مینیمم انرژی مربوط به جهت گیری μ در میدان مغناطیسی B
22	شکل-۱۴: جدا شدگی ترازهای انرژی اسپینی در میدان مغناطیسی خارجی

- شکل-۱۵ : ساده ترین اسپکترومتر..... ۲۷.....
- شکل -۱۶: تصویر یک اسپکترومتر با اجزای مختلف 27.....
- شکل -۱۷: توان ماکروویو منعکس شده از حفره تشدید..... ۲۸.....
- شکل -۱۸ : سلول واحد هیدروکسی اپتایت ۳۷.....
- شکل -۱۹: ساختار هگزاگونال هیدروکسی اپتایت..... ۴۱.....
- شکل-۲۰ : کوره مورد استفاده با دمای قابل تنظیم و کپسولهای گاز CO_2 ۴۹.....
- شکل -۲۱: طرح شماتیک انجام آزمایش XRD..... ۵۱.....
- شکل -۲۲: تصویر دستگاه XRD واقع در پژوهشکده کشاورزی، پزشکی، صنعتی کرج..... ۵۲.....
- شکل-۲۳: نمونه ای از توری مسی پوشانده شده با لایه کربنی..... ۵۳.....
- شکل -۲۴: تصویر دستگاه TEM واقع در پژوهشکده کشاورزی، پزشکی، صنعتی کرج..... ۵۴.....
- شکل -۲۵: دستگاه طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)..... ۵۶.....
- شکل -۲۶: دستگاه پرتو دهی نمونه ها..... ۵۷.....
- شکل -۲۷: تصویر دستگاه EPR و محل نمونه گذاری آن ۵۸.....
- شکل -۲۸: طیف XRD نمونه قبل از قرارگرفتن در کوره..... ۵۹.....
- شکل -۲۹: طیف XRD نمونه ها پس از قرارگرفتن در کوره در مجاورت گاز CO_2 در دمای $100^\circ C$.. ۶۱.....
- شکل -۳۰: طیف XRD نمونه ها پس از قرارگرفتن در کوره در مجاورت گاز CO_2 در دمای $400^\circ C$ ۶۳.....
- شکل-۳۱: طیف مقایسه ای XRD کلیه نمونه ها..... ۶۴.....
- شکل -۳۲: تغییرات ایجاد شده در پیک 002 در موقعیت تقریبی 2θ درجه..... ۶۶.....
- شکل -۳۳: طیف FTIR نمونه ها پس از قرارگرفتن در مجاورت گاز CO_2 و در دمای $400^\circ C$ ۶۸.....
- شکل -۳۴: طیف مقایسه ای FTIR نمونه ها پس از قرارگرفتن در مجاورت CO_2 و در دمای $400^\circ C$ ۶۸.....

- شکل ۳۵- نتایج آنالیز TEM نمونه ها قبل و بعد از قرار گرفتن در مجاورت CO_2 و دردمای $400^{\circ}C$.. ۶۹
- شکل ۳۶- تغییرات شدت سیگنال EPR نمونه ها بر حسب زمان در دمای $100^{\circ}C$ ۷۰
- شکل ۳۷- تغییرات شدت سیگنال EPR نمونه ها بر حسب زمان در دمای $400^{\circ}C$ ۷۱
- شکل ۳۸- تغییرات شدت سیگنال EPR نمونه ها به دز جذبی در دمای $100^{\circ}C$ و $400^{\circ}C$ ۷۲
- شکل ۳۹- تغییرات شدت سیگنال EPR نمونه ها به دز جذبی بصورت مقایسه ای ۷۳

فصل اول

مبانی نظری و کلیات

۱-۱- مبانی نظری پخش

1-1-1 مقدمه

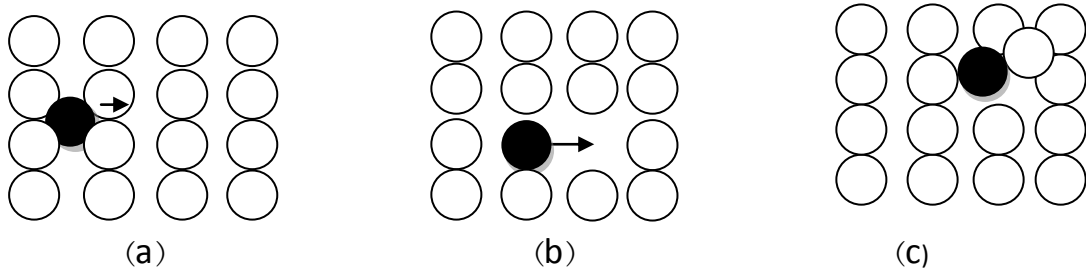
عموماً فرایند پخش جهت وارد کردن مقدار کنترل شده آلاینده به زیر لایه مورد استفاده قرار میگیرد. در این روش رسوب آلاینده از فاز گازی، به درون ماده بلوری (روی سطح یا نزدیک سطح) صورت میگیرد. تراکم آلاینده بطور هماهنگ از سطح به بعد کاهش مییابد. در پخش توزیع آلاینده عمدتاً توسط دما و زمان پخش تعیین می شود. این روش سابقاً جهت نفوذ آلاینده به درون نیم رسانا بکار می رفته اما امروزه استفاده از آن کاربردهای گسترده تری یافته است. در این پروژه از این روش برای نفوذ گاز CO_2 به درون زیر لایه هیدروکسی اپتایت استفاده میشود. البته روش دیگری به نام کاشت یون نیز برای نفوذ ناخالصی به درون آلاینده کاربرد دارد که استفاده از آن در سالهای اخیر مرسوم تر شده است. که در این روش یونهای آلاینده توسط پرتو یونی پر انرژی در داخل بلور کاشته می شوند. مزایای این روش کنترل دقیق مقدار آلاینده، قابلیت بازتولید اصلاح شده شکلهای ناخالصی و فراوری در دمای پایین است. از دو روش پخش و کاشت یونی به صورت مکمل همدیگر در تهیه مدار مجتمع ها استفاده میشود [11].

۱-۱-۲- نظریه فرایند پخش

پخش ناخالصی ها بطور نوعی، با قرار دادن ماده مورد نظر در کوره و عبور گاز بی اثر از آن که محتوی ناخالصی مطلوب است انجام می شود.

۱-۱-۳- چگونگی پخش

پخش را می توان به صورت حرکت اتمی اتمهای آلیشگر در شبکه بلوری و جایگزین شدن در محل های تعادلی شبکه، جاهای خالی یا بین نشین ها توصیف کرد. شکل-۱، ساز و کار کلی پخش و شکل-۲، دو مدل اساسی پخش اتمی را در جسم جامد نشان می دهد [1].



شکل-۱: توصیف ساز و کار پخش

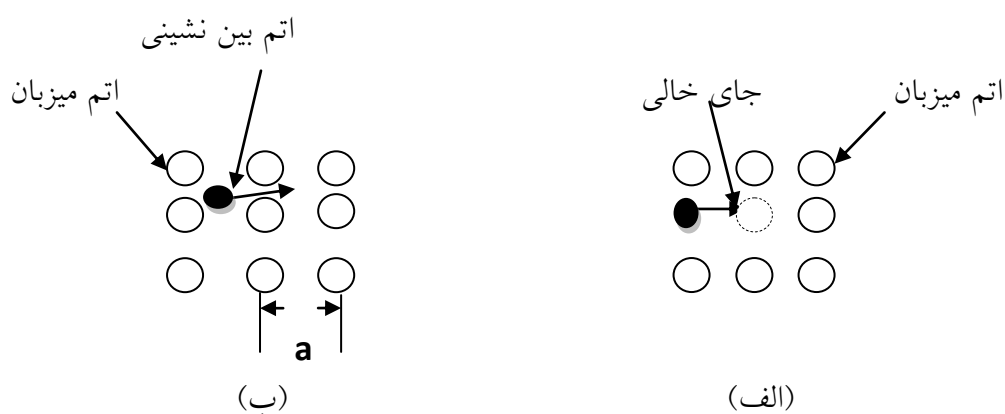
دایره های توخالی اتمهای میزبانند که مکانهای تعادلی شبکه را اشغال کرده اند. دایره های تو پر اتمهای ناخالصی اند که به شبکه بلور وارد شده اند. در دماهای بالا، اتمهای شبکه حول جایگاههای تعادلی شبکه ارتعاش میکنند.

۱-۱-۴- مکانیسم های پخش جاهای خالی و پخش بین نشین

سازو کارهای پخش اتمی با توجه به مکان قرار گرفتن اتم ناخالصی و میزبان به دو دسته پخش بین نشین و پخش جاخالی تقسیم می شود.

برای پخش در یک جامد بلوری، یک اتم ناخالصی واقع شده بین اتمهای میزبان مطابق شکل-۱(a) در نظر گرفته میشود. این اتم ناخالصی با توجه به مکان قرار گرفتن آن یک بین نشین نامیده می شود، که می تواند از یک موقعیت بین نشین به موقعیت جای خالی دیگر بپرد. گاهی یک اتم ناخالصی در

یک جایگاه شبکه که بطور طبیعی توسط یک اتم میزبان اشغال شده است قرار می گیرد و قادر است تا به یک موقعیت خالی همسایه تغییر مکان دهد، مطابق شکل ۱- (b). همچنین برای یک اتم ناخالصی بین نشین^۱ این امکان وجود دارد که اتم میزبان همسایه را به یک مکان بین نشین مجاور هل دهد و به مکان جاخالی ایجاد شده حرکت کند مطابق شکل ۱- (c). این احتمال بطور محدود وجود دارد که اتم میزبان انرژی کافی برای ترک جایگاه شبکه را بدست آورد و به یک اتم بین نشین تبدیل شود، که در نتیجه یک جای خالی ایجاد میگردد. وقتی که اتم ناخالصی همسایه همانطور که در شکل ۲- (الف) نشان داده شده، به محل جای خالی مهاجرت می کند، این ساز و کار را پخش جاهای خالی می گویند. اگر اتم بین نشین بدون اشغال یک جایگاه شبکه از محلی به محل دیگر برود، مطابق شکل ۲- (ب) ساز و کار پخش را پخش بین نشین گویند. معمولاً اتمهای کوچکتر از اتم میزبان، بصورت بین نشین حرکت میکنند [11].



شکل ۲- مکانیسمهای پخش اتمی (a ثابت شبکه است)

الف: پخش جاخالی ب: پخش بین نشین

۱-۱-۵- قانون فیک

این قانون که از نام آدولف فیک (سال ۱۸۵۵) گرفته شده است، نفوذ را از لحاظ آماری در محیطهای پیوسته بررسی کرده و ضریب نفوذ (D) را تعریف می کند.

¹ Substitutional

قانون نخست فیک برای نفوذ در حالت پایا به کار می‌رود. یعنی زمانی که اختلاف غلظت با گذشت زمان تغییر نمی‌کند و فقط به مکان وابسته است.

$$J = -D \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (1-1)$$

که در این رابطه:

- J شار نفوذ
- D ضریب نفوذ
- ϕ غلظت
- x فاصله نفوذ

D با سرعت متوسط ذرات رابطه مستقیم دارد که سرعت خود به دما، گرانیوی سیال و اندازه ذرات وابسته است.

علامت منفی در این رابطه به دلیل منفی بودن $\frac{\partial \phi}{\partial x}$ (گرادیان غلظت) می‌باشد. از آنجا که شار مقداری مثبت می‌باشد، رابطه باید در یک منفی ضرب شود.

قانون دوم فیک

قانون دوم فیک بیشتر برای محیط‌های ناپایا استفاده می‌شود و به صورت زیر است :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \quad (2-1)$$

که در آن ϕ غلظت ماده نفوذ کننده، t زمان و D ثابت نفوذ را تشکیل می‌دهد. در کلیه بحثهای انتقال جرم این قانون بکار می‌رود. یکی از این موارد، الکتروشیمی هست. در این مبحث با در نظر گرفتن همرفت طبیعی و یا سایر شرایط آزمایش، مساله با شرایط مرزی و اولیه مطرح می‌شود [2,9].

۱-۱-۶- کاستی ها یا عیوب شبکه بلوری

نقص بلوری عبارتست از بی‌نظمی اتم‌ها و یون‌ها در شبکه بلوری مواد. این بی‌نظمی به صورت فقدان اتم‌ها و یون‌ها در محل و موقعیت خود و یا به صورت قرار گرفتن اتم‌ها و یون‌ها در مکانی غیر از جایگاه اصلی خود، دیده می‌شود.

به عبارت ساده تر گاهی اتم ها و یون ها در جایی که باید باشند، نیستند و در جایی که نباید باشند دیده می شوند.

دو شاخه از علم به بررسی امکان و عوامل ایجاد کننده این نقص ها می پردازد که در ادامه به اختصار به معرفی آنها پرداخته شده است.

شاخه اول «علم ترمودینامیک» است که با تحلیل مقتضیات ترمودینامیکی شبکه های بلوری به امکان یا عدم امکان ایجاد چنین نقص هایی در آن ها می پردازد.

علم ترمودینامیک با بررسی فیزیک اتم ها و یون ها در شبکه های بلوری، به ما می گوید که شبکه های بلوری به صورت ذاتی مایل به داشتن این کاستی ها در ساختار خود هستند یا نه؛ زیرا با ایجاد نواقص، انرژی شبکه بلوری کاهش و پایداری آن افزایش می یابد. این تفسیر بیان می کند که نقص ها به طور طبیعی در مواد وجود خواهند داشت.

شاخه دوم «علم کینتیک» است.

علم کینتیک شرایط مورد نیاز برای به وجود آمدن چنین نقص هایی را بررسی می کند. درست است که علم ترمودینامیک امکان اتفاق افتادن این نواقص را مشخص می سازد، اما مسلماً برای ایجاد آنها شرایط ویژه ای لازم است که باید تامین گردد. علم کینتیک بیان می کند که با ایجاد چه تغییراتی در شرایط می توان امکان ایجاد این کاستی ها را تقویت کرده و یا آن را تضعیف نمود. علم کینتیک با بررسی فرآیند تشکیل نواقص، به شناسایی عوامل تاثیرگذار و میزان اثرگذاری آنها می پردازد.

این علم دو عامل را به عنوان عوامل اصلی موثر در ایجاد کاستی ها معرفی می کند که عبارتند از: «دما» و «زمان».

با افزایش دما امکان ایجاد نواقص در شبکه بلوری افزایش می یابد، بنابراین در دماهای پایین تر نقص های کمتری در شبکه بلوری مواد ایجاد می گردد.

برای توصیف اثر زمان آشنائی بیشتری با فرآیند تشکیل بلور لازم است. در فرآیندهای سنتی ساخت مواد - که به فرآیندهای «ساختن بالا به پایین» شهرت دارد - عموماً تشکیل بلور بر پایه فرآیند انجماد صورت می گیرد، به صورتی که ماده در حالت مایع - که فاقد نظم بلوری است - سرد میشود. با ادامه سرد شدن و نزدیک شدن به دمای انجماد، اتم ها و یون ها در کنار یکدیگر قرار گرفته و یک شبکه بلوری منظم را شکل می دهند. در دماهای بالاتر از نقطه انجماد اتم ها و یون ها امکان حرکت

و جابجایی دارند، با نزدیک شدن به نقطه انجماد از این تحرک کاسته میشود. زمانی که دما از نقطه انجماد می‌گذرد و کمتر از آن می‌شود، اتم‌ها و یون‌ها تحرک لازم برای جابجایی را از دست داده و بنابراین در محل خود ثابت می‌شوند.

با توصیف بالا از فرآیند انجماد و تشکیل شبکه منظم بلوری دیده میشود که تنها زمان ممکن برای تشکیل بلور زمانی است که دما از حدود بالایی نقطه انجماد به زیر نقطه انجماد می‌رسد. در این زمان اتم‌ها و یون‌ها می‌بایست از محل خود جابجا شده و به شکلی منظم در کنار یکدیگر قرار بگیرند. بدیهی است که این جابجایی به یک حداقل زمانی نیاز دارد و گرنه اتم‌ها و یون‌ها فرصت قرار گرفتن در جای مناسب خود را نمی‌یابند و تمامی محل‌های لازم برای کامل شدن شبکه بلوری را پر کنند. بنابراین کوتاه شدن زمان انجماد می‌تواند به نقص شبکه بلوری و طولانی شدن آن می‌تواند به شکل‌گیری کامل تر شبکه بلوری کمک نماید.

اما به راستی چه چیزی این زمان را کنترل می‌کند؟

همانطور که پیش‌تر گفته شد این زمان چیزی بجز فاصله تغییر دما از دمای بالای نقطه انجماد به دمایی پایین‌تر از این نقطه نیست. بنابراین عاملی که این زمان را کوتاه و یا طولانی می‌کند «سرعت تغییر دما» است یعنی اینکه اگر ماده از حالت مایع به آهستگی سرد شود، زمان بیشتری طول خواهد کشید تا به دمای پایینیتر از نقطه انجماد برسد، بنابراین اتم‌ها و یون‌ها این فرصت را خواهند یافت که در محل مناسب خود قرار بگیرند و تمامی موقعیت‌های لازم را پر کنند. برعکس اگر مایع به سرعت سرد شود دما سریعاً به دمای زیر نقطه انجماد خواهد رسید و در نتیجه اتم‌ها و یون‌ها تحرک خود را فوراً از دست خواهند داد و فرصت کافی برای جا به جا شدن و نشستن در محل‌های مناسب را نخواهند داشت؛ بدیهی است که این کار موجب ایجاد نقص بیشتر در شبکه بلوری خواهد شد.

آیا انجماد سریع تنها دلیل ایجاد و تقویت نقص بلوری است و یا اینکه عوامل دیگری نیز می‌توانند منجر به ایجاد آن شوند؟

پیش از پاسخ به این پرسش باید به این نکته دقت کرد که نواقص بلوری از نظر زمان ایجاد به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: