مجله علمی – تحقیقی علوم انجنیری پوهنتون بغلان
د بغلان پوهنتون د انجنيري علومو علمي او څېړنيزه مجله
https://baghlan.edu.af -/ volume (1) , Issue (2), 2024, P(131-145)

خواص ساختمانی شبکه های کرستالی درحالت جامد

[1]پوهنیار عنایت الله صمیم عضو کادر علمی دیپارتمنت فزیک پوهنحی تعلیم و تربیه پوهنتون بغلان

structural properties in the solid state, of crystal lattices

Abstract

The world of crystals in science and engineering means the world of order and discipline of billions of material particles, which has been researched by science and technology scientists according to the arrangement of the particles that make up the crystalline material that determines the crystalline properties. The order and arrangement of the particles of a crystalline material strongly affects its properties. Based on research, all solids have crystalline properties. bcc crystal networks are not the same as fcc crystal networks. Properties of crystalline lattice in solid state is one of the important topics in physics, chemistry, geology and mineralogy. The purpose of this research is to identify the properties of crystalline networks in the solid state. In this research, a review-descriptive method has been used, which is based on content analysis. The research results showed that solids like iron have a bcc structure at room temperature up to 912 degrees Celsius, but when the temperature reaches 1400 degrees Celsius, its structure changes to fcc. Above 1400°C, it returns to the bcc structure again. Therefore, it can be concluded that the structure of metals is not the same, but it can be changed at different temperatures.
Key words: Atoms, Crystal materials, Crystal network, Properties of materials, Structure of crystals,

چکیده

دنیای کرستال‌ها در علم ساینس و انجنیری یعنی دنیای نظم و انضباط میلیاردها ذره مادی، که با توجه به نحوه ترتیب ذرات تشکیل دهنده ماده کرستالی که خواص کرستالی را تعیین می‌کند، مورد تحقیق دانشمندان ساینس و تکنولوژی قرار گرفته است. نظم و ترتیب ذرات یک ماده کرستالی به شدت روی خواص آن تاثیر دارد. بر مبنای تحقیقات، تمام جامدات خواص کرستالی دارند. شبکه‌های کرستالی bcc با شبکه‌های کرستالی fcc با هم یکسان نبوده است. خواص شبکه کرستالی در حالت جامد یکی از موضوعات مهم در علوم فزیک، کیمیا، جیولوژی و معدن شناسی به شمار می‌رود. هدف از این تحقیق شناسایی خواص شبکه‌های کرستالی در حالت جامد است. در این تحقیق روش مروری- توصیفی به کار رفته است که شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تحلیل محتوا می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که جامدات مثل آهن در درجه حرارت اطاق الی ۹۱۲

[1] Email: e.samim1401@gmail.com

درجه سانتی‌گراد ساختمان bcc دارد، اما و قتی‌که درجهء حرارت به ۱۴۰۰درجه سانتی‌گراد می‌رسد، ساختمان آن به fcc تغییرشکل می‌دهد. بالاتر از ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد دو باره به ساختمان bcc بر می‌گردد. بنابر این می توان نتیجه گرفت که ساختمان فلزات یکسان نبوده، بلکه در حرارت‌های مختلف تغییر پذیر می‌باشد.

واژه های کلیدی: اتوم‌ها، خواص مواد، ساختمان کرستال‌ها، شبکه کرستال، مواد کرستالی

۹. مقدمه

کرستال‌ها شاخه ای از علم منرالوژی است که با نحوه ترتیب اتوم‌ها و روابط میان آنها در جامدات بلوری متناسب با ساختمان هندسی اتوم‌ها سروکار دارند. این موضوع پر اهمیت است، زیرا به واسطه آن می توان به خواص و ویژه‌گی‌های مواد پی برد. به کمک علم کرستال‌شناسی می‌توان مدل‌های ساختمانی عناصر را درک کرد. هم‌چنین به کمک ساختمان اتوم‌ها بسیاری از خواص فزیکی یا کیمیاوی مواد قابل توجه است. زمانی‌که مواد جامد طبقه‌بندی می‌شود، دو موضوع اهمیت بسیار بالایی دارد، روابط بین اتوم ها و آرایش اتوم ها درکنار هم قرار گرفته اند.

مواد از لحاظ ساختمانی به چهار بخش تقسیم شده است، که عبارت اند از ساختمان هسته‌یی، ساختمان الکترونی و اتومی، ساختمان کرستالی، ساختمان میتالوژیکی است، در کرستال‌شناسی بررسی نحوه ترتیب ذرات تشکیل دهنده تک کرستال می‌باشد و فواصل بین این ذرات در راستای مختلف به شدت روی خواص فزیکی، کیمیاوی و میخانیکی مواد تاثیر می‌گذارد. ذرات در مواد کرستالی تک دانه کرستال نامیده می‌شود می‌تواند اتوم‌ها، مالیکول‌ها و یا آیون های تشکیل دهنده ماده باشد. هریک از دانه ها [1] یک کرستال می باشد. مرز بین دانه‌ها را مرزدانه[2] می نامند. دانه‌ها براثر رشد هسته های اولیه انجماد شکل می‌گیرند و به یک دیگر می‌رسند. ساحه کار برد این مواد در علوم معدن شناسی، انجنیری علم مواد، الکترونیک، فیزیک، کیمیا، بیولوژی و طبی می‌باشد (ناصری, ۱۳۹۲, صفحه ۱۶) این علم برای ما این موضوع را می فهماند که در بین مواد های جامد چقدر فضای خالی وجود دارد که سبب سبک بودن و وزن داشتن دو جسم را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. هرعنصر کیمیاوی نظر به درجهء حرارت شان، دارای ساختمان های مختلفی هستند. که به اثر درجه حرارت ساختمانها ازحالت bcc به حالت fcc تغییر شکل می‌دهند. مثلا: آهن در درجه حرارت اطاق الی ۹۱۲ درجه سانتی‌گراد ساختمان bcc دارد. اما و قتی‌که درجهء حرارت به ۱۴۰۰درجه سانتی‌گراد

---

[1]- *grain*
[2]-*grain boundary*

می‌رسد، ساختمان مواد به fcc تغییرشکل می‌دهد. بالاتر از ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد دو باره به ساختمان bcc بر می‌گردد. به طورکلی ساختمان‌های مواد می‌تواند درحوزه‌های زیر بحث شود. ساختمان یک ماده به نحوهء ترتیب اجزای درونی آن مرتبط است. بسته به ابعاد سازنده یی درون ماده، می‌توان سطح مختلف ساختمان را برای هر ماده تعریف کرد که درین مقاله روی ساختمان کرستالی مواد بحث می‌کنیم، هنگامی‌که مواد از مایع یا بخار به جامد تغییر حالت می‌دهند تبدیل به دانه های ریز می‌شوند که از تجمع این دانه‌های ریز شکل ظاهری جامد به وجود می‌آید. دانه های آنها آنقدر کوچک است که نمی توان ترتیب هندسی منظمی برای ذرات تشکیل دهنده آن تعریف نمود، چنین موادی را مواد آمورف یابی شکل می‌نامند. درکرستال شناسی بررسی نحوه ترتیب ذرات تشکیل دهنده یک‌دانه یاتک کرستال می‌باشد. ترتیب ذرات در راستای مختلف به شدت روی خواص فزیکی، کیمیاوی و میخانیکی مواد تاثیر می‌گذارد. علم کرستال شناسی در رشته‌های متفاوت علوم تجربی، مانند زمین شناسی، کیمیا، فزیک وبعضی رشته‌های فنی وانجنیری، مانند انجنیری مواد مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد (حسن, ۱۳۹۰, صفحه ۵۸).

اولین بار درسال ۱۹۱۲م ماکس فون لاوه نشان داد که کرستالها، اشعه ایکس را به شکل منظمی متفرق می‌کند. تفرق اشعه ایکس مشخص کرد که یک کریستال، شکل منظمی از اتوم‌ها یا مالیکول ها را در الگویی مرتب نشان می‌دهد. هم اکنون از روش تفرق اشعه ایکس جهت بررسی خواص کرستال‌ها از جمله میزان کرستالی بودن مواد، ساختمان کرستالی، اندازه کرستال‌ها و پارامترهای شبکه ای استفاده می‌شود.

درسال ۱۳۹۶ دکتر سیترا « اسماعیلی» در دانشگاه پیام نور کشور ایران چنین دریافت نمود که کرستال‌ها معمولاً از حالت‌های محلول مذاب و بخار مواد شکل می‌گیرند. درحالت‌ها ذکر شده اتوم‌های نا منظم می‌باشند و با تغییر در جه حرارت فشار یا غلظت اتوم‌ها در ترتیب منظم به هم مربوط شده و قتی‌که محصله قوه‌های دافعه و جاذبه بین اتوم‌ها صفر شود، شکل کرستالی را می‌سازند.

داکتر رضا اسلامی« فارسانی » در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی کشور ایران دریافت نمود که تراکم اتومی شبکه fcc از شبکه bcc بیش‌تر است . لذا شبکه fcc ۷۴ فیصد فضای پر دارد اما شبکه bcc ۶۸ فیصد فضا اش پر است . لذا فیصدی فضای خالی شبکه bcc از شبکه fcc بیشتر است. شناخت کرستال که بخش از علوم تجربی می‌باشد که به بررسی صفات حالات، تغییرات و پدیده‌های مربوط به مواد و اجسام کرستالی می پر دازد. کرستال‌ها شامل ترکیبات معدنی و آلی

طبیعی یا مصنوعی بزرگ یا کوچک می‌باشند، از نقطه نظر کرستالوگرافی میان آنها با هم تفاوتی و جود ندارد، زیرا به طور عموم باید گفت که ویژه‌گی کرستال‌ها، خاصیت عادی در اجسام جامد محسوب می‌گردد، در حالیکه در گازها و مایعات اجزای اتومی، مالیکولی و آیونی بدون نظم و ترتیب خاصی فضای فی ما بین را پر می‌کنند.

۱۰. مواد وروش تحقیق

موضوع این مقاله شبکه‌های کرستالی در حالت جامد است، باید به روش‌های لابراتواری کار انجام میشد. اما متأسفانه به نسبت کمبود تجهیزات لابراتوار در کشور نیاز شده که به روش مروری و یا کتابخانه‌یی تحقیق صورت گرفته است.

۱۱. یافته های تحقیق

کرستال‌ها شاخه‌ای از علم انجنیری مواد است که با نحوه ترتیب اتوم‌ها و روابط میآن آنها در جامدهای بلوری متناسب با ساختمان هندسی اتوم‌ها سروکار دارد. با کمک علم کرستال‌شناسی می‌توان مدل-های ساختمانی اتوم را درک کرد. هم‌چنین به کمک ساختمان اتوم‌ها بسیاری از خواص فزیکی یا کیمیاوی مواد قابل توجه است. بنابر این ما شبکه‌های مکعبی‌یی را مورد مطالعه قرار می دهیم که درکنار هم دیگر قرار گرفته و تمام فضا را بدون کدام کمی و کاستی پر خواهد کرد. که (درحالت سه بعدی تعداد شبکه‌های براوه چهارده تا است. اما تعداد شبکه‌های غیربراوه خیلی بیشتر (۲۳۰ عدد)، ولی بازهم متناهی است. چهارده شبکه (گروه کرستالی) به هفت سیستم کرستالی طبقه بندی می‌شوند که هرکدام با شکل و تناظر سلول واحد مشخص است. این سیستم‌ها، سه میلی[۱]، تک میلی[۲]، راست گوشه[۳]، چهارگوشه[۴]، مکعبی[۵]، شش گوشی[۶]، و سه گوشی[۷] نامیده می‌شود. چهارده شبکه براوه و جدول (۱) سیستم ها، شبکه‌ها و مقادیر مناسب و کتورهای a , b و c همین طور زوایای γ, β, α را نشان می‌دهد. هر عنصر کیمیاوی نظر به درجهء حرارت شان، دارای ساختمان های مختلفی هستند که به اثر درجه حرارت ساختمان‌ها از حالت bcc به حالت fcc تغییر شکل می‌دهند. مثلا: آهن در درجه حرارت اطاق الی ۹۱۲ درجه سانتی‌گراد ساختمان bcc دارد. اما و قتی‌که درجهء حرارت به

[1] *Triclinic*
[2] *Monoclinic*
[3] *Orthorhombic*
[4] *Tetragonal*
[5] *Cubic*
[6] *Hexagonal*
[7] *Trigonal*

۱۴۰۰درجه سانتی‌گراد می‌رسد، ساختمان مواد به fcc تغییرشکل می‌دهد. بالاتر از ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد دو باره به ساختمان bcc بر می‌گردد.

۳-۱. کرستالوگرافی هندسی مواد

کرستال شناسی هندسی مواد، بخش از علوم در کره‌زمین می‌باشد، که در طول زمان از شکل سنتی خارج و به شکل امروزی درآمده است. در واقع این بخش از کرستالوگرافی برپایهء جواهرشناسی کار برد داشته و در آن به بررسی محور های کرستال‌شناسی می پردازد.

یک کرستال از مجموع اتوم های تشکیل شده است که با نظم معین در تمام حجم کرستالی توزیع شده است (هادی , ندی, & صمد بین , ۱۳۹۶).

امروز با پیشرفت کرستالوگرافی هندسی، مسلم گردیده است که بخش عظیمی از مواد جامد تشکیل دهندهء کرهء زمین بصورت معدن‌های بلوری درترکیب آن شرکت دارد. (حفره های کرستالی محل قرار گیری اتوم‌های بین نشین در ساختمان ها هستند؛ وجود اختلاف اندازهء حفرها و اتوم‌های شبکه باعث ایجاد پی‌چیده‌گی درشبکه شده و نظم اتومی تا حدی می‌تواند بهم بخورد. پر شدن حفره ها توسط اتوم های بین نشین دارای مزایا و معایب است این فضاهای خالی به علت کوچکی اندازه تنها می‌تواند توسط اتوم‌های عناصر با شعاع اتومی کوچک اشغال شوند این عناصر عبارت از نیتروژن، اکسیجن، کاربن و هیدروژن است. برای مثال در ساختمان فولاد که متشکل از آهن وکاربن به عنوان عناصر اصلی هستند، محل قرارگیری اتوم‌های‌کاربن در فضاهای خالی شبکه آهن است.

۳-۲. خواص کیمیاوی کرستال

خواص کیمیاوی کرستال یکی ازحالت‌های کرستالوگرافی می‌باشد که اصول مطالعه ویژه‌گی‌های کیمیاوی موجود درکرستال‌ها و استفاده از آن در توصیف ویژه‌گی‌های ساختمان رابطه ها در جامدات بلوری را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۳-۳. خواص فیزیکی کرستال

عبارت اند از خاصیت کشسانی، تراکم پذیری، انتقال حرارت و ویژه‌گی‌های مقناطیسی می‌باشد (فاضل & معین, تابستان ۱۳۹۲, صفحه ۲۰).

شبکه بلوری نظم بی نهایت از نقاط در فضا است که. یعنی همه نقاط شبکه از نظرهندسی هم ارزند. بنابر این هرشبکه تناظر انتقالی کاملی را نشان می‌دهد، به نحو که اگرنقطه از شبکه را به عنوان مبداء انتخاب کنیم، هرنقطه دیگر شبکه نسبت به آن مبداء دارای وکتور زیر است.

$$r_{123} = n_1\, a + n_2 b + n_3 c \qquad (۱)$$

ضرایب n_1 عدد صحیحی هستند و وکتورهای a, b و c واحدهای پایه تناظر انتقالی اند (ندا, ۱۳۹۹, صفحه ۳۵)

شبکه براوه: عبارت از شبکه است که آرایه دوره‌یی راکه واحدهای تکرار شونده در آن نظم یافته اند، مشخص می‌کند. خود واحدها ممکن است تک اتوم ها، یا گروهی از اتوم ها، مولکول ها، یون ها و غیره می‌باشند ولی شبکه براوه بدون توجه به این‌که واحد های وا قعی چه هستند، تنها هندسه ساختمان دوره ای زیر بنایی را خلاصه می‌کند. دو تعریف هم ارز برای یک شبکه براوه ارایه می دهیم.

الف: یک شبکه براوه نظمی است بی نهایت از نقاط مجزا باالترتیب و سمت‌گیری که از هرسو که به آنها نگریسته شود دقیقا همانند باشند.

ب: یک شبکه براوه (سه بعدی) از مجموعه نقاطی تشکیل شده است که دارای وکتور مکان R باشند.

$$R_{123} = n_1\, a_1 + n_2\, a_{2+}. n_3\, a_3 \qquad (۲)$$

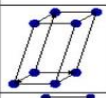
که در آن a_1 ، a_2 و a_3 سه وکتور اند که با هم در یک صفحه نیستند و n_1 ، n_2 و n_3 اعداد صحیح اند. بنابر این یا n_1 گام به طول a_1. درجهت $(a_{i=1.\ 2\ .3}$ به نقطه $\sum n_i\ a_i$ می رسیم. وکتور های a_i ای که درتعریف (ب) شبکه برا وه ظاهر شده اند وکتورهای بسیط نام دارد، شبکه را تولید کرده یا می پیماید. هر نظمی که (ب) را ارضاع کند در (الف) نیز صدق می‌کند، استدلال این که هر نظمی ایکه درتعریف (الف) صدق کند، می‌تواند توسط یک مجموعه سه تایی وکتور به وجود آید؟ چون بدیهی نیست. اثبات شامل دستور صریح برای ساختن سه وکتور بسیط می‌شود.

۳-۴. انواع اصلی شبکه

براوه (Bravais) درسال(۱۸۴۸) میلادی اثبات کرد که ازحرکت یا انتقال یک نقطه به طور پیاپی در سه بعد، در صورتی‌که دو شرط برقرار باشد، فقط چهارده شکل فضایی ممکن است ساخته شود. شبکه های کرستالی با انتقال ها شبکه یی T و عملگرهای تناظری گوناگون دیگر به شکل اول شان تبدیل می‌شود. یک عملگرتناظری نوعی دوران به حول محوری است که ازیک نقطه شبکه می‌گذرد. شبکه هایی و جود دارند که در آنها محور های تناظر یگانه، دوگانه، سه گانه، چهارگانه، و شش گانه، شبکه را به شکل اول شان بر می‌گردانند. این محور ها به دوران های 2π، $2\pi/2$ ، $2\pi/3$، $2\pi/4$ ، $2\pi/6$ را دیان و ضرایب صحیح این دوران‌ها مربوط اند. این محور های دو ران با علامه های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ نشان داده می‌شوند، شبکه ای را نمی‌توان پیداکرده که تحت دورا نهای دیگرمثل $2\pi/7$، را دیان $2\pi/5$را دیان، به شکل اول خود برگردد، یک مالیکول را می‌توان طوری طرح ریزی کرد که دارای هرگونه تناظر دو رانی دلخواه باشد، ولی یک شبکه دوره‌ای بی نهایت را نمی‌توان به این گونه طرح ریزی کرده. می‌توان ازمالیکول‌های که هریک محور دوران پنج گانه دارند، کرستالی ساخت، اما نباید انتظار داشت که این شبکه محور دوران پنج گانه داشته باشد. اگر بخواهیم شبکه دوره ای با تناظر پنج گانه یا هفت گانه بسازیم، چه اتفاقی می افتد؟ بناً پنج ضلعی ها و هفت ضلعی ها کاملاً مجاور یکدیگر قرار نگرفته و تمام فضا را پر نمی‌کنند، این امر نشان میدهد که نمی‌تواند تناظر نقطه یی پنج گانه را و هفت گانه را با دوره ای بدون انتقالی مورد نیازترتیب کرد. (قربانی & عرب شاهی, ۱۳۹۰, صفحه ۴۵).

بنابراین ما شبکه های مکعبی یی را مورد مطالعه قرار می دهیم که درکنار هم دیگرقرار گرفته و تمام فضا را بدون کدام کمی وکاستی پرخواهد کرد. که (درحالت سه بعدی تعداد شبکه های براوه چهارده تا است. اما تعداد شبکه های غیر براوه خیلی بیشتر(۲۳۰عدد)، ولی بازهم متناهی است. چهارده شبکه (گروه کرستالی) به هفت سیستم کرستالی طبقه‌بندی می‌شوند که هرکدام به شکل و تناظر سلول واحد مشخص شده است.

جدول (۱): سیستم ها، شبکه ها و مقادیر مناسب چهارده شبکه یی براوه را نشان داده و وکتور های a , b و c همین طور زوایای α, β, γ را نشان می‌دهد.

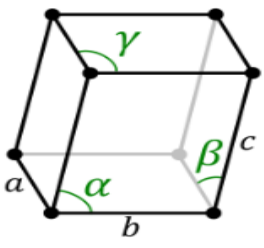
شبکه براوه	پارامترها	ساده	مرکز پر	قاعده پر	وجوه پر
تری‌کلینیک	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} \neq \alpha_{23} \neq \alpha_{31}$				
مونوکلینیک	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$ $\alpha_{12} \neq 90°$				
اورتورومبیک	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				
چهارضلعی	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				
مثلثی	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} < 120°$				
مربعی	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				
شش‌ضلعی	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = 120°$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				

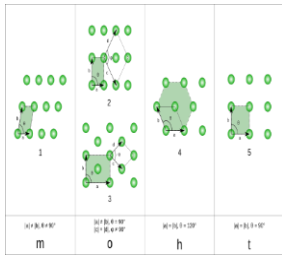
شبکه کرستالی خطی(یک بعدی): مجموعه نقاطی که در یک راستا مانند شکل(۱) قرارگرفته اند یک شبکه خطی را تشکیل می‌دهند. فاصله هر دو نقطه از یکدیگر را پا را متر شبکه می‌نامند و با حرف a نمایش می‌دهند. سایر نقاط همواره مضرب صحیح از پارا متر شبکه می‌باشند، انتقال ازیک نقطه به نقطه دیگر شبکه را ا نتقال شبکه می‌نامند.

شکل(۱): نحوه قرار گرفتن اتوم ها درکناریکدیگر دریک شبکه کرستالی یک بعدی

شبکه های دو بعدی: با بررسی مواد در حالت دو بعدی (۵) نوع شبکه براوه قابل تعریف است شکل (۲ الف). قسمتی از یک شبکه براوه دو بعدی را نشان می دهد. روشن است که تعریف(الف) برآورده شده و وکتورهای بسیط a_1 و a_2 مورد نیاز برای تعریف(ب) در شکل نشان داده شده اند. شکل (۲ب) یکی از آشنا ترین شبکه‌های سه بعدی براوه یعنی مکعبی ساده را نشان می‌دهد این نمونه ساختمان ویژه اش را مدیون این حقیقت است که می‌توان آنرا باسه وکتور بسیط دو به دو عمود برهم با طول مساوی تولید کرد. شبکه عام دو بعدی براوه فاقد تناظر خاص یعنی شبکه مایل وکتورهای بسیط a_1

و a_2 نشان داده شده است. همه نقاط شبکه ترکیب خطی این وکتور به ضرایب صحیح می‌باشند $P=a_1+2a_2$ $Q=-a_1+a_2$ شکل (۲ ب) شبکه برا وه سه بعدی مکعبی ساده سه وکتور را می‌توان عمود برهم و با مقدار مساوی گرفت. مهم است که نه تنها ترتیب بلکه سمت گیری نیز از هرنقطه دریک شبکه براوه یکسان به نظر میرسد (خانلری, ۱۴۰۰, صفحه ۸۱).

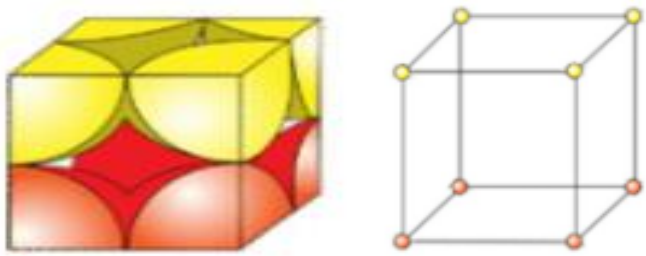




شکل (۲ الف) شبکه های کرستالی دو بعدی (شکل۲ ب) نمایش شبکه کرستالی سه بعدی

1-4-3. شبکه مکعبی ساده Simple Cubic

این شبکه ساده ترین ساختمان کرستالی را نمایش می دهد. که می‌توان درفضای وکتوری سه بعدی روی آن بحث کرد. درسلول واحد مکعبی ساده یک فلز، یک اتوم در هر یک از هشت گوشه مطابق شکل(۳) قرار دارد که در آنجا با هشت مکعب مجاور مشترک می‌شود. در نتیجه فقط ۱×۱/۸ از هراتوم گوشه ای به یک واحد مکعبی مشخص تعلق دارد. این سلول واحد مکعبی ساده باالترتیب منظم ردیف ها و طبقات، سلول واحد تکرار شونده در شبکه مکعبی ساده است. فقط پولونیوم غیرفلز است که اینگونه ساختمان را دارد. از اینرو بحث بر این ساختمان صرفا جنبه نظری و تیوریک دارد. فرض می‌کنیم یک سلول واحد که پارا متر شبکه آن a است درشبکه معکوس تعریف شود. در آن صورت پارامتر شبکه آن $2\pi/a$ خواهد شد (نوین , ۱۳۹۰ص ۸۳).



شکل(۳): یک شبکه مکعبی ساده با هشت اتوم مشترک

سه شبکه مهم که بیشتر ساختمان های کرستالی دارند عبارت اند از :

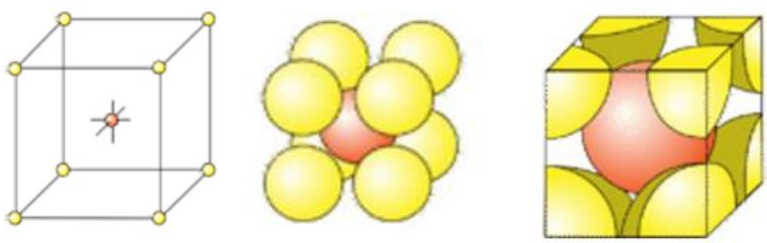
شبکه مکعبی مرکز دار body centered cubic

شبکه مکعبی سطح مرکزدار Face Centered Cubic

شبکه شش گوشیhexagonal closed packed

۱ - **شبکه مکعبی مرکزدار (bcc)**: با اضافه کردن یک نقطه اضافی به مرکز هر شبکه مکعبی ساده که وجوه آنرا A می‌نامیم تشکیل می شود. هشت اتوم درگوشه یی جمع یک اتوم دیگر در مرکز مکعب قرار دارد. این سلول واحد مکعبی مرکز پر با طبقات انتقال یافته و کمی فاصله در بین ساچمه های یک طبقه واحد تکرار شونده درشبکه مکعبی مرکز پر است. عناصر خالصی که این شبکه را تشکیل می دهند. عبارت اند از کروم، باریم، و ا نادیم، و تانتالیم، مکعبی مرکزدار هستند. این شبکه در درجه حرارت ۹۱۲ درجه سانتی گراد تشکیل می‌شود. در این جا اتوم های مستقر درهرگوشه مکعب با هشت سلول واحد مجاور خود مشترک هستند، سهم هرسلول واحد از هر اتوم گوشه معادل 1/8می‌باشد لذا باتوجه به اینکه ۸ اتوم درگوشه ها قرار دارند بنابر این سهم شبکه bcc از اتوم های گوشه برابر یک اتوم می‌باشد. ($8\times\frac{1}{8}=1$). اتوم واقع درمرکز مکعب تنها به این سلول واحد تعلق دارد. مطابق شکل(۴) اتوم قهوه یی رنگ) بدین ترتیب در فضای سلول واحد bcc معادل دو اتوم قرار دارند و بقیه، فضای خالی بین اتوم ها است. پس حجم اشغال شده درشبکه کرستالی معادل ۶۸ فیصد فضای سلول واحد است که طور ذیل محاسبه می‌گردد (ندا, ۱۳۹۹, صفحه ۲۳۹).

$$(8\times\frac{1}{8})+1=2$$



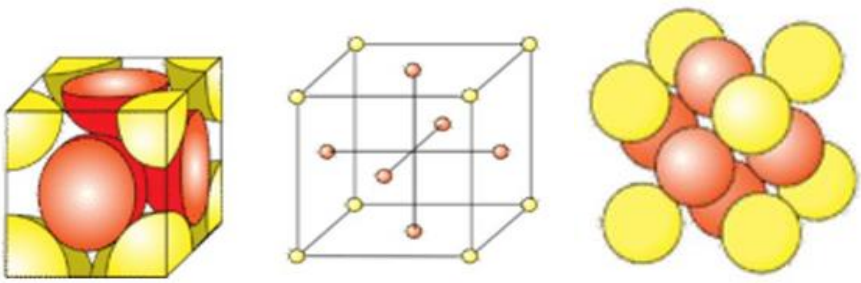
شکل(۴): شبکه مکعبی مرکز پر

۲- شبکه مکعبی سطوح مرکز دار (fcc): برای ساختن شبکه براوه مرکز سطحی به مرکز هر وجه مربعی شبکه مکعبی یک نقطه دیگر اضافه کنید. برای ساده گی توصیف فکر کنید هرمکعب در شبکه مکعبی ساده، وجوه بالایی و پایینی و چهار وجه جانبی عمودی در جهت‌های شمال، جنوب، شرق و غرب داشته باشد. این مکعب هشت اتوم در هرگوشه داشته و یک اتوم اضافی در هریک از وجوه شش

گانه است که بین دو مکعب مجاور مشترک هستند. بنابرین ۱/۲ هریک از اتوم‌های واقع درجدار به سلول واحد مورد نظر تعلق دارد و شبکه کرستالی عناصر مانند طلا، نقره، مس، پلاتین، آلمونیم و سرب مکعبی سطوح مرکزدار اند. همه به صورت ساختمان fcc بلوری می‌شوند. شکل(۵) سلول‌های واحد شامل چهار اتوم است، ازهشت اتوم که در روءس مکعب قرار دارند و با سلول های دیگر مشترک اند، یک اتوم و ازشش اتوم ی که در وجه سلول‌های دیگر مشترک اند، سه اتوم، متعلق به این سلولی واحد اند. تعداد فضاهای بین نشین ساختمان bcc از fcc بیشتر می باشد. به علت کوچکتر بودن فضای بین اتوم‌ها که از اندازه شعاع کوچک ترین اتوم‌های موجود، نتیجه می‌شود که با بین نشین شدن یک اتوم سایر فضاها به دلیل ایجاد انحنا در ساختمان ناشی از وجود اتوم بین نشین کوچکتر هم می‌شوند. درنتیجه تعداد اتوم‌های که توا نایی بین نشین شدن دارند به شدت کاهش میآبد. بنابر این حجم اشغال شده در شبکه کرستالی fcc معادل ۷۴ فیصد فضای سلول واحد است.

$(۸\times \frac{۱}{۸}) + (۶\times \frac{۱}{۲}) = ۴$

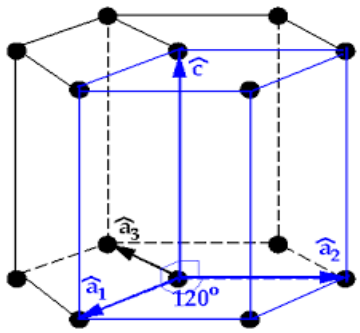
نتیجه می‌شود که درساختمان fcc اشغال شده هرسلول واحد درمجموع معادل چهار اتوم کامل است و بقیه فضای موجود، فضای خالی بین اتوم ها است (علی عمرمترجم نبیونی, ۱۳۹۰, صفحه ۲۱)



شکل(۵): شبکه مکعبی سطوح مرکز پر

۳- شبکه هگزاگونال hexagonal closed packed : اگرچه ساختمان این شبکه شش گوشی یا (hcp) یک شبکه براوه نیست، اما همراه با شبکه های براوه مکعبی مرکز حجمی و مکعبی مرکز سطحی از جایگاه مهمی بر خوردار است، حدود (۳۰) عنصر به شکل بسته بندی نزدیک شش گوشی کرستالی می‌شوند. قرار شکل (۶). ساختمانی است که سلول واحد آن یک منشور شش و جهی فشرده (متراکم) می‌باشد که برگرفته شده از شبکه هگزا گونال ساده است که در صفحه موازی با قاعده و در فاصله $\frac{c}{2}$ از قاعده (صفحات 1 0 0 0) سه نقطه شبکه قرار دارد. محل قرار گرفتن نقاط روی صفحه

طوری است که تصویر آنها در فضای خالی نقاط شبکه قاعده واقع می‌شود که درشکل ذیل نشان داده شده است. این شبکه از عناصر که درجدول (۲) نامگذاری جهات و صفحات کرستالی شبکه های hcp مانند سایر شبکه های کرستالی می‌باشد و محور های کرستالی a_1 ، a_2 و c اختیار می‌شود. ولی گاهی اوقات برای بعضی از صفحات و جهات کریستالی استفاده سیستم مختصات چهار محور نسبت به سیستم مختصات سه محوری در شبکه های hcp ساده تر می‌باشد. همان طور که درشکل ذیل نشان داده شده است عموماً مبدا مختصات درمرکز قاعده و محور های a_1 , a_2 , a_3 که با یکدیگر زاویه (۱۲۰) درجه می‌سازند درصفحه قاعده منشور شش وجهی منظم قرار دارند و محور c عمود برصفحه قاعده می‌باشد.



شکل(۶): نمایش شبکه h c p و دستگاه مختصات چهارمحوری a_1 ، a_2 ، a_3 و c (ناصری, ۱۳۹۲, صفحه ۴۸)

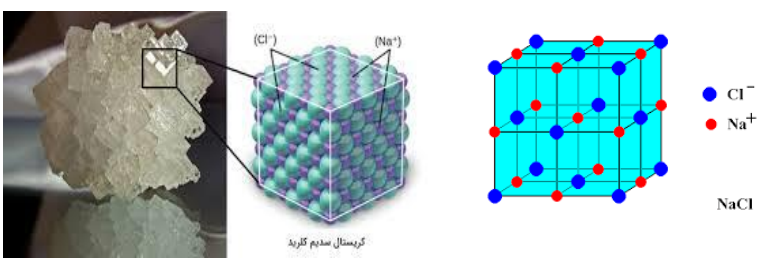
اگرچه ساختمان شبکه شش گوشی که به بسیارنزدیک بهم بسته بندی شده است یک شبکه براوه نیست، اما همراه با شبکه های براوه مکعبی مرکز حجمی و مکعبی مرکز سطحی از جایگاهی مهمی برخور دار است (خانلری, ۱۴۰۰, صفحه ۹۳).

جدول (۲): عناصر با ساختمان کرستالی شش گوشی با بسته بندی نزدیک

ELEMENT	a (Å)	c	c/a	ELEMENT	a (Å)	c	c/a
Be	2.29	3.58	1.56	Os	2.74	4.32	1.58
Cd	2.98	5.62	1.89	Pr	3.67	5.92	1.61
Ce	3.65	5.96	1.63	Re	2.76	4.46	1.62
α-Co	2.51	4.07	1.62	Ru	2.70	4.28	1.59
Dy	3.59	5.65	1.57	Sc	3.31	5.27	1.59
Er	3.56	5.59	1.57	Tb	3.60	5.69	1.58
Gd	3.64	5.78	1.59	Ti	2.95	4.69	1.59
He (2 K)	3.57	5.83	1.63	Tl	3.46	5.53	1.60
Hf	3.20	5.06	1.58	Tm	3.54	5.55	1.57
Ho	3.58	5.62	1.57	Y	3.65	5.73	1.57
La	3.75	6.07	1.62	Zn	2.66	4.95	1.86
Lu	3.50	5.55	1.59	Zr	3.23	5.15	1.59
Mg	3.21	5.21	1.62		—	—	
Nd	3.66	5.90	1.61	"Ideal"			1.63

۳-۵. ساختمان سودیم کلوراید

این ساختمان نمک خوراکی معمولی NaCl است، که ساختمان مکعبی داشته و همان طوریکه درشکل(۷) نشان داده شده است در امتداد سه جهت اصلی(محورها) متناو با اتوم های Cl و Na قرارگرفته اند. درسه بعد، سلول واحد مانند شکل (۷ب) به طورخلاصه می‌گویم که NaCl یک ساختمان غیر براوه است که از ترکیب دو زیر شبکه یی fcc که درهم فرو رفته اند ایجاد شده یکی از این زیر شبکه ها از اتوم های Na و Cl تشکیل شده است که یکی نسبت به دیگری به اندازه $\frac{1}{2}$ a انتقال یافته است (علی عمرمترجم نبیونی, ۱۳۹۰, صفحه ۲۳).

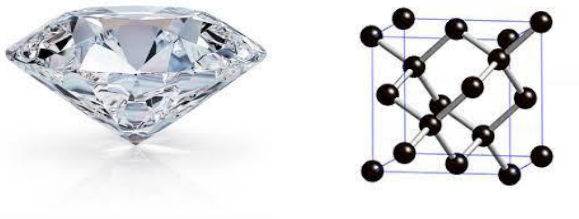


شکل(۷الف): ساختمان سودیم کلوراید و (ب) شکل سه بعدی سودیم کلوراید

۳-۶. ساختمان الماس

شبکه الماس (متشکل از اتوم‌های کاربن درکرستال الماس) که از دو شبکه براوه مکعبی مرکز سطحی ساخته شده که درهم نفوذ کرده و در راستای قطر اصلی سلول مکعبی، به اندازه یک چهارم طول قطر، انتقال شده اند. دلیل اصلی سخت بودن الماس رابطه اتومی آن است که دو به دو به هم قفل شده اند. می‌توان آن را به صورت یک شبکه مکعبی مرکز سطحی با پایه دو نقطه ای در(0) و (x+y+z)

$\frac{a}{4}$ درنظر گرفت. نزدیکترین همسایه گان است یعنی با چهار اتوم همسایه است شبکه الماس یک شبکه براوه نیست، زیرا سمت گیری محیط اطراف هرنقطه با محیط اطراف نزدیکترین همسایه گان آن فرق می‌کند شکل(۸) سلول مکعبی قراردادی شبکه الماسی. برای وضوح بیشتر، نقاط مربوط به یکی از دو شبکه مکعبی مرکز سطحی درهم فرورفته توخالی نشان داده شده اند. و نقاط توخالی بانوع دیگر) رابطه بین نزدیکترین همسایه ها رسم شده است. چهار نزدیکترین همسایه رءوس یک چهار وجهی منظم را تشکیل می‌دهند (خانلری, ۱۴۰۰, صفحه ۹۲).



شکل(۸): سلول مکعبی قراردادی شبکه الماسی

۱۲. نتیجه‌گیری

کرستال شناسی هندسی مواد بخش ازعلوم زمین شناسی می‌باشد که درطول زمان ازشکل سنتی آن خارج و به شکل امروزی در آمده، در واقع این بخش ازکرستالوگرا فی درگذشته برپایه گوهرشناسی که در جواهر شناسی کاربرد داشته و در آن به بررسی محور های کرستال شناسی می‌پرداخته است. خواص کیمیاوی کرستال به بررسی نحوه ترتیب ذرات تشکیل دهنده کرستال می پردازد. ترتیب ذرات تشکیل دهنده دانه ها و فواصل بین این ذرات در راستای مختلف به شدت روی خواص فزیکی، کیمیاوی و میخانیکی مواد تاثیر می‌گذارد. این ذرات تشکیل دهنده هریک از دانه‌ها که در مواد کرستالی یک یکدانه کرستال نامیده می‌شود مهم‌ترین وجه تمایز انواع جامدات آن است که برخی کرستالی و برخی بی شکل اند. جامدات کرستالی جامدات هستندکه اتوم ها، آیونها، یا مالیکولهای آنها ترتیب منظم وگسترده یی دارند. این نظم درسطح اتومی نیز دیده می‌شوند، پس مجموعه ای از نقاط ریاضی که به هرپایه وابسته است، شبکه نامیده می‌شود. شبکه ها به انواع و اقسام مختلف ترتیب گردیده است که مشهورترین آنها عبارت اند شبکه یک بعدی، شبکه دو بعدی، سه بعدی یا مکعب می‌باشد. تعداد شبکه غیر برآوه به (۲۳۰عدد)، میرسد ولی بازهم متناهی است. اما شبکه های برآوه چهارده شبکه بوده که به هفت سیستم کرستالی طبقه بندی می‌شوند که هرکدام باشکل و تناظر

سلول واحد مشخص می‌شود. این سیستم ها، سه میلی، تک میلی راست گوشه، سه گوشی چهارگوشه، مکعبی شش گوشی می‌باشد. چهارده شبکه یی براوه سیستم‌ها، شبکه‌ها و مقادیر مناسب وکتورهای a ، b وc همین طور زوایای، γ, β, α را نشان می‌دهد که عبارت اند از شبکه مکعبی ساده sc، شبکه مکعبی مرکزدار bcc، شبکه مکعبی وجه مرکزدار fcc و شبکه هگزاگونال hcp تقسیم گردیده است. هریک از این شبکه‌ها در حرارت مختلف ساختمان‌های مختلف دارند. مثلا آهن از درجه حرارت (۳۰-۹۱۲) درجه سانتی‌گراد ساختمان bcc دارد و (۱۴۰۰-۹۱۲) درجه سانتی‌گراد به شبکه fcc تبدیل می‌شود و قتی‌که حرارت بالاتر از ۱۴۰۰درجه سانتی‌گراد می‌رسد دوباره به ساختمانbcc بر می‌گردد. پس باید گفت که هرگاه نظم وترتیب ذرات در فواصل مختلف جهت ایجاد یک ماده نتیجه مرکبات شود این مرکبات آلی، مرکبات معدنی و حتی مصنوعی خواهد بود که از آن انسان‌ها در زنده‌گی روز مره خویش استفاده می نمایند.

فهرست منابع

۱. اسلامی فارسانی, ر .(۱۳۹۲) .کرستالوگرافی.
۲. تنهایی, ا .(۱۳۹۶) .حل مسایل فیزیک حالت جامد پیشرفته . *جاپ پنجم*.
۳. حسن, ب. ب (۱۳۹۰) *بلور شناسی وسیستم های تبلوری* .مجتمع آموزشی عالی پیامبر اعظم (ص).
4. خانلری, د. م. (۱۴۰۰). *فزیک ماده چگال*. تهران: دانشگاه تهران.
۵. رودن ام ان/ ویلسون وجی, م .(۱۳۸۱) .فیزیک حالت جامد .*چاپ اول*.
۶. علی عمرمترجم نبیونی, غ .(۱۳۹۰) .*فیزیک حالت جامد* .اراک, ایران: دانشگاه اراک.
۷. فاضل, م. ا& .,معین, س. م) .تابستان ۱۳۹۲ .(*بلورشناسی نوری* .مشهد, ایران: انتشارات سخن گستر باهمکاری معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.
8. قربانی, ر., & عرب شاهی, ه. (۱۳۹۰). *فیزیک ماده چگال*. تهران, ایران: دانش نگار.
۹. کیتل, چ., ترجمعه قربانی, ش& .,عرب شاهی , ه) .۱۳۹۰:۱۵ .(*مقدمه ای برفیزیک حالت جامدویرایش هشتم* . تهران: دانش نگار.
۱۰. مایرز:, ا., ترجمعه تجبر, د., علی نژاد, د& .,یزدی, ش) .چاپ اول ۱۳۸۷ .(*مبانی فیزیک حالت جامد* .مشهد, ایران: دانشگاه فردوسی مشهد.
11. ناصری, م. ر. (۱۳۹۲). *بلورشناسی*. مشهد: انتشارات سخن گستروموانت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی.
۱۲. ندا, م .(۱۳۹۹) .*کیمیای غیرعضوی* .کایل: انتشارات نویسا.