به نام خداوند بخشنده مهربان

آمادگی آزمون دکتری

خواص فیزیکی و استحاله فازی

مجموعه:

مهندسی متالورژی و مواد

مؤلفان:

کیانوش طاهرخانی

سینا سالاری

طاهرخانی، کیانوش (۱۳٦۵)
خواص فیزیکی و استحاله فازی رشته مهندسی متالورژی و مواد /کیانوش طاهرخانی، سینا سالاری (۱۳٦٦)
تهران ـ مشاوران صعود ماهان: ۱٤۰۱
۲٦۳ص: جدول، نمودار، (آمادگی آزمون دکتری)
شابک ISB/N: 978-600-458-666 -5
وضعیت فهرستنویسی: فیپا مختصر
فارسی ـ چاپ اول
۱-خواص فیزیکی و استحاله فازی ۲- آزمونها و تمرینها
۲- آزمون دوره‌های تحصیلات تکمیلی ۴-دانشگاه‌ها و مدارس عالی ـ ایران ـ آزمونها
کیانوش طاهرخانی ـ سینا سالاری
ج ـ عنوان
شماره کتابشناسی ملی ۳۸۰۲۶۸۲

انتشارات مشاوران صعود ماهان

❐ **نام کتاب:** ..... خواص فیزیکی و استحاله فازی
❐ **مدیران مسئول:**.....مجید و هادی سیّاری
❐ **مولفین:**.....کیانوش طاهرخانی ـ سینا سالاری
❐ **مدیر برنامه ریزی و تولید محتوا:**.....سمیه بیگی
❐ **ناشر:** .....مشاوران صعود ماهان
❐ **نوبت و تاریخ چاپ:**.....اول /۱۴۰۱
❐ **تیراژ:**.....۱۰۰۰ نسخه
❐ **قیمت:**.....۲/۴۹۰/۰۰۰ ریال
❐ **شابک:** ISBN۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۶۶۶-۵

انتشارات مشاوران صعود ماهان:تهران ـ خیابان ولیعصر، بالاتر از تقاطع ولیعصر مطهری، پلاک ۲۰۵۰
تلفن: ۸۸۱۰۰۱۱۳ و ۸۸۴۰۱۳۱۳

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به موسسه آموزش عالی آزاد ماهان می‌باشد. و هرگونه اقتباس و کپی‌برداری از این اثر بدون اخذ مجوز پیگرد قانونی دارد.

مقدمه ناشر

بنام خدا

ایمان داریم که هر تغییر و تحول بزرگی در مسیر زندگی بدون تحول معرفت و نگرش میسر نخواهد بود. پس بیایید با اندیشه توکل، تفکر، تلاش و تحمل در توسعه دنیای فکریمان برای نیل به آرامش و آسایش توأمان اولین گام را برداریم. چون همگی یقین داریم دانایی، توانایی می‌آورد.

شاد باشید و دلی را شاد کنید

برادران سیاری

۹۳

مقدمه مولف

در سال‌های اخیر به دلیل گرایش فراوان دانشجویان رشته مهندسی مواد برای ورود به دوره تحصیلات تکمیلی و رقابت فشرده آنها در آزمون های دکتری، نیاز به منبعی که داری پاسخ کاملاً تشریحی، صحیح و به دور از اشکالات علمی تست های کنکور را دارا باشد، کاملا احساس می شود. کتاب حاضر شامل درس نامه، تست های طبقه‌بندی شده مربوط به هر فصل، تست های دسته بندی شده و شامل آزمون های دکتری سال های ۹۱ تا ۹۳ همراه با پاسخ تشریحی کامل می باشد.

جای دارد از همه اساتید بزرگوار دانشگاه‌های مختلف کشور در زمینه مهندسی مواد و متالورژی به ویژه اساتید دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر و علم و صنعت ایران کمال تشکر را داشته باشیم.

همواره بر این باوریم که اثرمان عاری از ایراد نیست. بنابراین صمیمانه از اساتید محترم ، همکاران گرامی دانشگاهی و دانشجویان عزیز در خواست می شود هر گونه تصحیح، پیشنهاد، انتقاد و نظر خود را در خصوص مطالب این کتاب یادآور شده که مزید تشکر و امتنان خواهد بود.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزمان

آنان که از خواسته هایشان گذشتند،

سختی‌ها را به جان خریدند

و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند

کیانوش طاهرخانی

سینا سالاری

فهرست مطالب

فصل اول- بلورشناسی **صفحه**

۱-۱- تعریف بلور ۱۱
۱-۲- شبکه‌های بلورین در فلزات ۱۲
۱-۳- تعداد اتم‌ها در سلول واحد ۱۲
۱-۴- رابطه بین شعاع اتمی (r) و ثابت شبکه (a) ۱۴
۱-۵- فاکتور فشردگی (PF) ۱۴
۱-۶- عدد همسایگی ۱۵
۱-۷- چگالی تئوری فلزات ۱۵
۱-۸- جهات بلورشناسی ۱۶
۱-۸-۱- شبکه مکعبی ۱۶
۱-۸-۲- شبکه HCP ۱۶
۱-۹- چگالی خطی و انباشتگی خطی ۱۶
۱-۱۰- صفحات بلورشناسی ۱۷
۱-۱۰-۱- شبکه مکعبی ۱۷
۱-۱۰-۲- سلول واحد HCP ۱۸
۱-۱۱- چگالی سطحی و انباشتگی سطحی ۱۹
* تست های طبقه بندی شده فصل اول ۲۰

فصل دوم- عیوب بلورین **صفحه**

۲-۱- عیوب نقطه‌ای ۳۲
۲-۱-۱- جای خالی اتمی ۳۲
۲-۱-۲- اتم‌های بین‌نشین ۳۳
۲-۱-۳- اتم‌های جانشین ۳۳
۲-۱-۴- عیب فرانکل ۳۳
۲-۱-۵- فضاهای بین‌نشین در شبکه بلورین ۳۳
۲-۱-۶- تعداد فضاهای تتراهدرال و اکتاهدرال ۳۳
۲-۱-۷- بزرگی فضاهای بین‌نشین ۳۴
۲-۱-۸- درصد اتمی و درصد وزنی یک عنصر در آلیاژ ۳۵
۲-۲- عیوب خطی ۳۵
۲-۲-۱- نابجایی لبه‌ای ۳۵
۲-۲-۲- نابجایی پیچشی ۳۶
۲-۲-۳- حلقه نابجایی ۳۷
۲-۳- عیوب سطحی ۳۷
۲-۴- عیوب حجمی ۳۷
۲-۵- کاربرد اشعه X در تعیین فاصله بین صفحات اتمی ۳۷
۲-۵-۱- تفرق اشعه X ۳۷
۲-۵-۲- روش دبای شرر برای تعیین زاویه تفرق ۳۸
* تست های طبقه بندی شده فصل دوم ۴۰

فصل سوم- نمودارهای فازی دوتایی **صفحه**

۳-۱- تعاریف ۴۸
۳-۲- انواع آلیاژها از نظر تعداد فازها ۴۸
۳-۳- قانون فازها ۴۸
۳-۴- قوانین هیوم- روتاری ۴۹
۳-۵- انجماد فلز خالص و آلیاژ محلول جامد جانشین ۴۹
۳-۶- نمودارهای فازی دوتایی ۵۰
۳-۶-۱- تعاریف ۵۰
۳-۶-۲- نمودار فازی با حلالیت کامل در حالت مذاب و جامد ۵۰
۳-۶-۳- مشخص کردن ترکیب شیمیایی فازها ۵۱
۳-۶-۴- قانون اهرم برای محاسبه مقدار فازها ۵۱
۳-۶-۵- انجماد تعادلی آلیاژها ۵۱
۳-۶-۶- انجماد غیرتعادلی آلیاژها ۵۳
۳-۶-۷- همگن‌سازی ۵۳
۳-۷- نمودار فازی دارای نقطه یوتکتیک ۵۴
۳-۷-۱- نمودار فازی دارای نقطه یوتکتیک- نوع اول ۵۴
۳-۷-۱-۱- تعاریف ۵۴
۳-۷-۱-۲- انجماد تعادلی آلیاژ یوتکتیک ۵۵
۳-۷-۱-۳- انجماد تعادلی آلیاژ هیپویوتکتیک ۵۶
۳-۷-۱-۴- درصد حجمی فازها در آلیاژ دو فازی ۵۷
۳-۷-۲- نمودار فازی دارای نقطه یوتکتیک- نوع دوم ۵۸
۳-۷-۲-۱- انجماد تعادلی آلیاژ یوتکتیک $A-50B$ ۵۸
۳-۷-۲-۲- انجماد تعادلی آلیاژ هایپریوتکتیک $A-75B$ ۵۹
۳-۷-۲-۳- انجماد تعادلی آلیاژ $A-10B$ ۶۱
۳-۷-۳- استحکام آلیاژهای یوتکتیک ۶۲
۳-۸- ترکیبات بین فلزی ۶۳
۳-۸-۱- ترکیبات بین فلزی الکتروشیمیایی ۶۳
۳-۸-۲- ترکیبات بین فلزی از نوع اندازه اتمی ۶۳
۳-۹- نمودار فازی دارای تحول پری‌تکتیک ۶۵
۳-۹-۱- انجماد تعادلی آلیاژ پری‌تکتیک $A-5B$ ۶۵
۳-۹-۲- انجماد تعادلی آلیاژ $A-3B$ ۶۷
۳-۱۰- نمودار فازی دارای تحول مونوتکتیک ۶۸
۳-۱۱- نمودار فازی دارای تحول یوتکتویید ۷۰
۳-۱۱-۱- انجماد تعادلی آلیاژ $A-15B$ ۷۰
۳-۱۱-۲- انجماد تعادلی آلیاژ هایپریوتکتویید ۷۲
۳-۱۲- نمودار فازی دارای تحول پری‌تکتویید ۷۳
۳-۱۳- جمع‌بندی ۷۴

۳-۱۴- نمودار فازی $Fe-Fe_3$ ۷۵
* تست های طبقه بندی شده فصل سوم ۷۸
فصل چهارم – نمودارهای فازی سه‌تایی
۴-۱- مقدمه ۱۰۵
۴-۲- تعیین ترکیب شیمیایی در داخل مثلث ۱۰۵
۴-۳- تعاریف ۱۰۷
۴-۴- انجماد تعادلی در نودارهای سه‌تایی ۱۰۸
۴-۴-۱- سیستم اول ۱۰۸
۴-۴-۲- سیستم دوم ۱۱۱
۴-۴-۳- سیستم سوم ۱۱۱
۴-۴-۴- سیستم چهارم ۱۱۳
۴-۴-۵- سیستم پنجم ۱۱۳
۴-۴-۶- سیستم ششم ۱۱۴
۴-۴-۷- سیستم هفتم ۱۱۴
۴-۴-۸- سیستم هشتم ۱۱۵
۴-۵- خلاصه ۱۱۵
* تست های طبقه بندی شده فصل چهارم ۱۱۶
فصل پنجم: نفوذ **صفحه**
۱-۱- مقدمه ۱۲۴
۱-۲- مکانیزم‌های نفوذ اتمی از طریق شبکه ۱۲۴
۱-۳- ضریب نفوذ ۱۲۵
۱-۴- قوانین فیک ۱۲۶
۱-۴-۱- قانون اول فیک ۱۲۶
۱-۴-۲- قانون دوم فیک ۱۲۷
۱-۴-۳- راه‌حل‌های معادله دوم فیک ۱۲۸
۱-۵- اثر کرکندال ۱۳۲
۱-۶- معادله‌های دارکن ۱۳۲
۱-۶-۱- تعیین $\tilde{D}$ به کمک روش ماتانو ۱۳۳
۱-۷- نیروی محرکه حرکت اتمی ۱۳۳
۱-۸- مسیرهای با سرعت نفوذ بالا ۱۳۴
*تست های طبقه‌بندی شده فصل پنجم ۱۳۵
فصل ششم: سطح و فصل مشترک **صفحه**
۲-۱- مقدمه ۱۴۲
۲-۲- انرژی مرز دانه ۱۴۳
۲-۲-۱- مرز دانه با زاویه کم ۱۴۳
۲-۲-۲- مرز دانه با زاویه زیاد ۱۴۴
۲-۳- مرز دوقلویی ۱۴۵
۲-۴- شکل تعادلی فاز ثانویه ۱۴۵

۲-۵- فصل مشترک فازها در جامدات ۱۴۷
۲-۵-۱- فصل مشترک همدوس ۱۴۷
۲-۵-۲- فصل مشترک شبه همدوس ۱۴۸
۲-۵-۳- فصل مشترک غیر همدوس ۱۴۹
۲-۶- رسوبات در مرز دانه فاز زمینه ۱۴۹
۲-۷- تأثیر انرژی فصل مشترک و انرژی اعوجاج الاستیک ناشی از همدوسی ۱۵۰
۲-۷-۱- تأثیر انرژی فصل مشترک بر شکل رسوبات ۱۵۰
۲-۷-۲- تأثیر انرژی اعوجاج الاستیک ناشی از عدم تطابق شبکه‌ها (ΔG_S) بر شکل رسوب ۱۵۰
۲-۷-۳- تأثیر انرژی اعوجاج الاستیک ناشی از فصل مشترک غیر همدوس ($\Delta G_{S_{inc}}$) بر شکل رسوب ۱۵۱
۲-۸- از بین رفتن همدوسی فصل مشترک طی رشد رسوب ۱۵۲
* تست های طبقه‌بندی شده فصل ششم ۱۵۳

فصل هفتم: جوانه‌زنی **صفحه**

۳-۱- مقدمه ۱۵۸
۳-۲- جوانه‌زنی جامد در مذاب یا انجماد ۱۵۸
۳-۲-۱- جوانه‌زنی همگن جامد در مذاب ۱۵۸
۳-۲-۲- سرعت جوانه‌زنی همگن جامد در مذاب ۱۶۰
۳-۲-۳- جوانه‌زنی غیرهمگن جامد در مذاب ۱۶۱
۳-۲-۴- سرعت جوانه‌زنی غیرهمگن جامد در مذاب ۱۶۲
۳-۳- جوانه‌زنی جامد در جامد ۱۶۳
۳-۳-۱- جوانه‌زنی همگن جامد در جامد ۱۶۳
۳-۳-۲- سرعت جوانه‌زنی همگن جامد در جامد ۱۶۴
۳-۳-۳- نقش ΔG_S بر جوانه‌زنی همگن جامد در جامد ۱۶۴
۳-۳-۴- جوانه‌زنی غیرهمگن جامد در جامد ۱۶۵
۳-۳-۵- سرعت جوانه‌زنی غیرهمگن جامد در جامد ۱۶۵
۳-۳-۶- جوانه‌زنی جامد در مرز دانه جامد اولیه ۱۶۶
۳-۴- انواع فصل مشترک‌ها میان رسوب و زمینه ۱۶۶
*تست های طبقه‌بندی شده فصل هفتم ۱۶۸

فصل هشتم: آنیل کردن **صفحه**

۴-۱- مقدمه ۱۷۶
۴-۲- بازیابی ۱۷۶
۴-۳- تبلور مجدد ۱۷۷
۴-۳-۱- سینتیک تبلور مجدد ۱۷۷
۴-۳-۲- عوامل مؤثر بر سرعت رشد ۱۷۸
۴-۳-۳- عوامل مؤثر بر سرعت جوانه‌زنی ۱۷۸
۴-۳-۴- دمای تبلور مجدد (T_R) ۱۷۸
۴-۳-۵- عوامل مؤثر بر دمای تبلور مجدد ۱۷۹
۴-۳-۶- اندازه دانه پس از تبلور مجدد (d) ۱۷۹
۴-۴- رشد دانه ۱۷۹
۴-۴-۱- سنیتیک رشد دانه‌ها ۱۷۹

*تست های طبقه‌بندی شده فصل هشتم.. ۱۸۰
فصل نهم: استحاله‌های نفوذی و غیرنفوذی **صفحه**
۵-۱- مقدمه ۱۸۴
۵-۲- فرآیند رسوب سختی ۱۸۴
۵-۲-۱- مشخصات رسوبات انتقالی ۱۸۵
۵-۲-۲- تغییرات سختی آلیاژ رسوب سخت با زمان ۱۸۶
۵-۲-۳- سینتیک درشت شدن رسوبات ۱۸۷
۵-۳- تجزیه اسپینودالی ۱۸۷
۵-۴- جوانه‌زنی فریت از آستنیت در آلیاژهای $Fe-C$ ۱۸۸
۵-۵- تحول آستنیت به پرلیت ۱۸۹
۵-۶- سینتیک استحاله‌های فازی – نمودار TTT ۱۹۰
۵-۷- بینیت ۱۹۱
۵-۸- تحول مارتنزیتی ۱۹۲
* تست های طبقه‌بندی شده فصل نهم ۱۹۴
فصل دهم – مجوعه سوالات و آزمون های دکتری ..... صفحه
مجموعه سوالات ۱ ۲۰۱
پاسخ تشریحی مجموعه سوالات ۱ ۲۰۶
مجموعه سوالات ۲ ۲۱۱
پاسخ تشریحی مجموعه سوالات ۲ ۲۱۴
مجموعه سوالات ۳ ۲۱۸
پاسخ تشریحی مجموعه سوالات ۳ ۲۲۳
مجموعه سوالات ۴ ۲۲۶
پاسخ تشریحی مجموعه سوالات ۴ ۲۳۰
مجموعه سوالات ۵ ۲۳۳
پاسخ تشریحی مجموعه سوالات ۵ ۲۳۸
مجموعه سوالات ۶ ۲۴۳
پاسخ تشریحی مجموعه سوالات ۶ ۲۴۶
سوالات خواص فیزیکی مواد دکتری سال ۱۳۹۱ ۲۴۸
پاسخ تشریحی سوالات خواص فیزیکی مواد دکتری سال ۱۳۹۱ ۲۵۱
سوالات خواص فیزیکی مواد دکتری سال ۱۳۹۲ ۲۵۳
پاسخ تشریحی سوالات خواص فیزیکی مواد دکتری سال ۱۳۹۲ ۲۵۶
سوالات خواص فیزیکی مواد دکتری سال ۱۳۹۳ ۲۵۸
پاسخ تشریحی سوالات خواص فیزیکی مواد دکتری سال ۱۳۹۳ ۲۶۰
منابع ۲۶۳

فصل اول

بلور شناسی

آنچه در این فصل می‌خوانیم

- ✓ تعریف بلور
- ✓ شبکه‌های بلورین در فلزات
- ✓ تعداد اتم‌ها در سلول واحد
- ✓ رابطه بین شعاع اتمی (r) و ثابت شبکه (a)
- ✓ فاکتور فشردگی (PF)
- ✓ عدد همسایگی
- ✓ چگالی تئوری فلزات
- ✓ جهات بلورشناسی
- ✓ چگالی خطی و انباشتگی خطی
- ✓ صفحات بلورشناسی

فصل اول

بلورشناسی

۱-۱- تعریف بلور

در بلورها (کریستال)، اتم‌ها به صورت منظم و همراه با یک الگوی مشخص در کنار یکدیگر قرار گرفته و سلول‌های منظمی به‌نام سلول واحد را تشکیل داده‌اند؛ به عبارت دیگر، سلول واحد،کوچک‌ترین گروه از اتم‌هایی است که دارای تقارن بلورین می‌باشد و با تکرار آن‌ها در جهات z, y, x، شبکه‌ی بلورین ایجاد می‌شود.

در جامدات بلورین، سلول واحد می‌تواند بر ۱۴ نوع باشد و در هفت نوع شبکه بلورین که به شبکه‌های براوه موسوم است، تقسیم‌بندی می‌شود. این تقسیم‌بندی براساس پارامترهای شبکه صورت گرفته است. پارامتر شبکه به اطلاعاتی از سلول واحد گفته می‌شود که به واسطه آن بتوان اندازه، ابعاد و شکل سلول واحد را تعریف کرد و شامل طول یال‌ها و زوایای میان یال‌ها می‌باشد. در جدول ۱-۱ انواع شبکه‌های براوه همراه با مشخصات آنها نمایش داده شده است.

۱-۲- شبکه‌های بلورین در فلزات

فلزات، عمدتاً دارای دو نوع شبکه بلورین شامل شبکه‌های مکعبی و هگزاگونال فشرده (شش گوشه) هستند. شبکه مکعبی نیز می‌تواند بر سه نوع سلول واحد مکعبی ساده (SC) دارای ۸ اتم در گوشه‌ها، مکعبی مرکز پُر (BCC) با ۸ اتم در گوشه‌ها و ۱ اتم در مرکز مکعب، و مکعبی با وجوه مرکز پُر (FCC) دارای ۸ اتم در گوشه‌ها و ۶ اتم در ۶ وجه مکعب باشد. شبکه هگزاگونال نیز به صورت هگزاگونال فشرده (HCP) با ۶ اتم در گوشه‌های هر قاعده، ۱ اتم در مرکز هر قاعده و ۳ اتم در مرکز سلول واحد می‌باشد.

نکته مهم: در سلول واحد HCP، رابطه $c = ۱/۶۳a$ برقرار است.

۱-۳- تعداد اتم‌ها در سلول واحد

از آنجایی که یک شبکه بلورین از تکرار سلول‌های واحد در جهات مختلف تشکیل شده است؛ بنابراین مقدار تعلق هر اتم به سلول واحد مورد نظر به موقعیت قرار گرفتن آن اتم بستگی دارد. به طور کلی، حالت‌های زیر را برای تعیین اتم‌های متعلق به یک سلول واحد باید در نظر گرفت:

۱) اگر اتم در قسمت‌های داخلی سلول واحد قرار گیرد، تمام آن متعلق به سلول واحد است.

۲) اتم‌های واقع در گوشه‌های سلول مکعبی، تنها $\frac{۱}{۸}$ آنها و در سلول واحد هگزاگونال، تنها $\frac{۱}{۶}$ آنها به سلول واحد متعلق است.

۳) اتم‌های واقع در وجوه سلول واحد، $\frac{۱}{۲}$ آنها به سلول واحد تعلق دارد.

۴) اتم‌های واقع در یال‌ها، $\frac{۱}{۴}$ آنها به سلول واحد متعلق است.

به این ترتیب، تعداد اتم‌ها در سلول واحدهای مختلف (N) به قرار زیر خواهد بود:

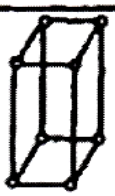
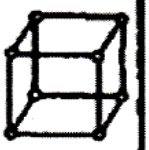
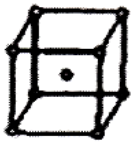
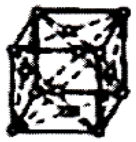
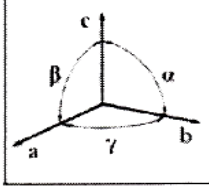
در سلول واحد SC: $N = ۸ \times \frac{۱}{۸} = ۱$

در سلول واحد BCC: $N = (۸ \times \frac{۱}{۸}) + (۱ \times ۱) = ۲$

در سلول واحد FCC: $N = (۸ \times \frac{۱}{۸}) + (۶ \times \frac{۱}{۲}) = ۴$

سلول واحد HCP: $N = (۱۲ \times \frac{۱}{۶}) + (۲ \times \frac{۱}{۲}) + (۳ \times ۱) = ۶$

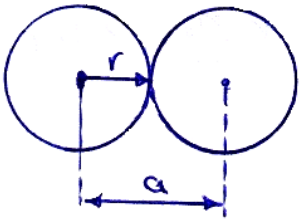
جدول۱-۱

سیستم بلورین / نوع شبکه	تری کلینیک	مونو کلینیک	ارتورمبیک	تتراگونال	رمبهدرال (تریگونال)	هگزاگونال (تریگونال)	مکعبی
ساده Primitive							
قاعده مرکزدار Base Centered							
مرکزدار Body Centered							
وجوه مرکزدار Face Centered							
ثوابت شبکه 	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$ $a \neq b \neq c$	$\beta \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ $a = b = c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ $a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b = c$

۱-۴- رابطه بین شعاع اتمی (r) و ثابت شبکه (a)

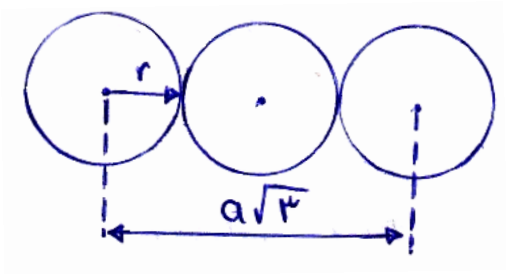
برای تعیین چنین رابطه‌ای، نیاز است تا جهت بلورینی را که در آن اتم‌ها در تماس با هم هستند، مشخص نمود. به این صورت:

در سلول واحد SC:



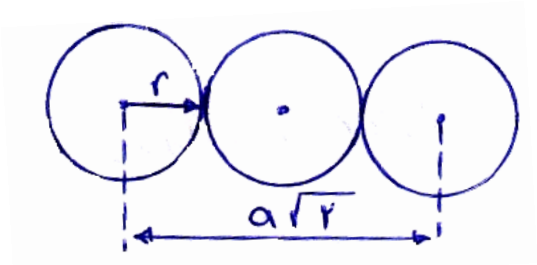
$$a = ۲r$$

در سلول واحد BCC:



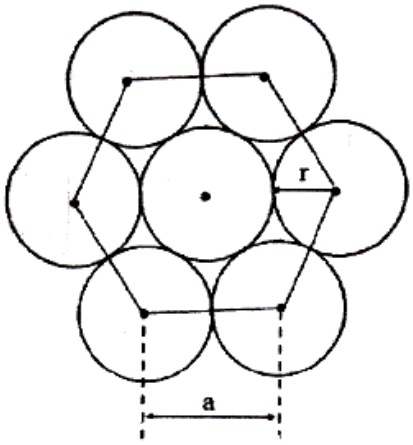
$$a\sqrt{۳} = ۴r \Rightarrow a = \frac{۴r}{\sqrt{۳}}$$

در سلول واحد FCC:



$$a\sqrt{۲} = ۴r \Rightarrow a = \frac{۴r}{\sqrt{۲}}$$

سلول واحد HCP:



$$a = ۲r$$

$$c = ۱/۶۳a \Rightarrow c = ۳/۲۶r$$

۱-۵- فاکتور فشردگی (PF)

عبارت است از میزان پر شدن فضای شبکه توسط اتم‌ها و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\%PF = \frac{n \times V_{atom}}{V_{cell}} \times ۱۰۰ \qquad (۱-۱)$$

که n تعداد اتم‌های متعلق به یک سلول واحد، V_{atom} حجم یک اتم برابر $\frac{۴}{۳}\pi r^۳$ برای یک اتم کروی به شعاع r و V_{cel} حجم سلول واحد است. جدول ۱-۲، حجم سلول واحد شبکه‌های مختلف بلورین را نشان می‌دهد. به این ترتیب:

در واحد سلول SC:
$$\%PF = \frac{۱\times(\frac{۴}{۳}\pi r^۳)}{(۲r)^۳}\times ۱۰۰ = \%۵۲$$

در سلول واحد BCC:
$$\%PF = \frac{۲\times(\frac{۴}{۳}\pi r^۳)}{(\frac{۴r}{\sqrt{۳}})^۳}\times ۱۰۰ = \%۶۸$$

در سلول واحد FCC:
$$\%PF = \frac{۴\times(\frac{۴}{۳}\pi r^۳)}{(\frac{۴r}{\sqrt{۲}})^۳}\times ۱۰۰ = \%۷۴$$

در سلول واحد HCP:
$$\%PF = \frac{۶\times(\frac{۴}{۳}\pi r^۳)}{(\frac{۳\sqrt{۳}}{۳})(۲r)^۲(۳/۲۶r)}\times ۱۰۰ = \%۷۴$$

بنابراین، ملاحظه می‌شود که سلول واحد SC، حداقل فشردگی و سلول‌های واحد FCC و HCP حداکثر فشردگی را دارند. شبکه این دو سلول واحد را شبکه فشرده یا متراکم گویند.

جدول ۱-۲

نوع شبکه	حجم سلول واحد (V_{cell})
مکعبی	$a^۳$
هگزاگونال	$\frac{۳\sqrt{۳}}{۲}a^۲.c$
تتراگونال	$a^۲.c$
اورتورمبیک	$a.b.c$
رمبهدرال	$a^۳.\sqrt{۱-۳\cos^۲\alpha+۲\cos^۳\alpha}$
مونو کلینیک	$a.b.c.\sin\beta$
تری کلینیک	$a.b.c.\sqrt{۱-\cos^۲\alpha-۲\cos^۲\beta-\cos^۲\gamma+۲\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma}$

۱-۶- عدد همسایگی

عدد همسایگی شبکه به تعداد پیوند اتمی که هر اتم در شبکه بلورین می‌سازد، گویند. به عبارت دیگر، کافی است تعیین شود که هر اتم در تماس با چند اتم دیگر است. این عدد را می‌توان در حجم شبکه، صفحه یا جهت بلورین تعیین کرد. به این ترتیب، عدد همسایگی در شبکه SC، ۶، در شبکه BCC، ۸، در شبکه FCC و HCP، ۱۲ می‌باشد.

۱-۷- چگالی تئوری فلزات

عبارت است از نسبت جرم اتم‌های سازنده سلول واحد به حجم سلول.

$$\rho_{Metal} = \frac{M_{cell}}{V_{cell}} = \frac{n\times Z}{V_{cell}\times N_A} \qquad (۲-۱)$$

که n تعداد اتم موجود در سلول واحد، Z جرم اتمی فلز و N_A عدد آووگادرو هستند.

۱-۸- جهات بلورشناسی

۱-۸-۱- شبکه مکعبی

رفتار فیزیکی و مکانیکی بلورها، تابعی از جهات بلورین است. بنابراین، در جهات مختلف، انتظار رفتار متفاوت از یک ماده می‌رود. به عنوان مثال، فلزات FCC در جهت $<۱۰۰>$، رفتار الاستیک راحت‌تر و در جهت متراکم $<۱۱۰>$، رفتار بلورین پلاستیک بهتری را از خود نشان می‌دهند. هر جهت بلورین در شبکه مکعبی با اندیس‌های میلر به صورت $[u \quad v \quad w]$ نشان داده می‌شود. برای تعیین جهت بلورین به شکل $[u \quad v \quad w]$ در یک شبکه مکعبی به صورت زیر باید عمل کرد:

۱) برداری در جهت بلورین مورد نظر رسم کنید.

۲) مختصات نقاط ابتدا و انتهای این بردار را مشخص کنید. (xyz)

۳) مختصات نقطه‌ی ابتدا را از انتها کم کنید.

۴) اگر نتیجه حاصل به صورت کسری بود، آن را تبدیل به عدد صحیح کنید.

۵) اگر عددی منفی در جهت بلورین حاصل، به دست آمد، منفی را روی آن عدد قرار دهید.

نکات:

۱) جهاتی را که از نظر آرایش اتمی یکسان هستند، اما ظاهر اندیس میلر آن‌ها متفاوت است، می‌توان به شکل کلی $[u \quad v \quad w]$ نشان داد.

۲) اگر یک جهت بلورین، مضرب صحیح و مثبتی از جهت دیگر باشد، جهت آن دو یکسان می‌باشد.

۳) جهات بلورین $[u \quad v \quad w]$ و $[\bar{u} \quad \bar{v} \quad \bar{w}]$ در خلاف جهت هم هستند.

۴) دو جهت $[u \quad v \quad w]$ و $[u' \quad v' \quad w']$ بر هم عمودند اگر $uu' + vv' + ww' = ۰$.

۱-۸-۲-شبکه HCP

در سلول واحد **HCP**، اندیس میلر به شکل $[u \quad v \quad t \quad w]$ نشان داده می‌شود که رابطه زیر بین اندیس‌ها برقرار است:

$$t = -(u+v) \qquad (۱-۳)$$

برای مشخص کردن اندیس میلر در شبکه **HCP** می‌توان جهت مورد نظر را به یک شبکه تتراگونال (مکعب مستطیل) منتقل کرده و مشابه با شبکه مکعبی، اندیس میلر $[u' \quad v' \quad w']$ را تعیین نمود. سپس، به کمک روابط زیر اندیس‌های میلر جهت مورد نظر در **HCP** را محاسبه نمود:

$$u = \frac{۱}{۳}(۲u' - v'); v = \frac{۱}{۳}(۲v' - u'); t = -\frac{۱}{۳}(+u' + v'); w = w' \qquad (۱-۴)$$

نکته:جهات متراکم در سلول واحد**HCP** عبارتند از: $[۱۱\bar{۲}۰], \quad [\bar{۱}۲\bar{۱}۰], \quad [۲\bar{۱}\bar{۱}۰]$

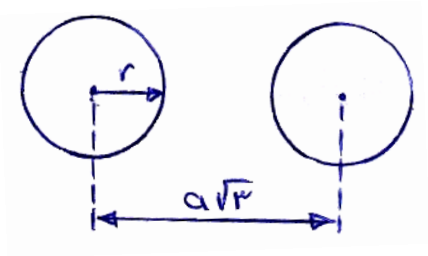
۱-۹- چگالی خطی و انباشتگی خطی

چگالی خطی (LD)، تراکم اتمی در یک جهت بلورین را نشان می‌دهد و عبارت است از تعداد اتم‌های موجود در یک جهت بلورین تقسیم بر طول آن جهت. انباشتگی خطی یا درصد انباشتگی (LP)، درصدی از یک جهت بلورین را گویند که توسط اتم‌ها اشغال شده باشد. درصد انباشتگی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\%LP = \frac{n \times ۲r}{\text{طول جهت}} \times ۱۰۰ \qquad (۱-۵)$$

مثال: در فلزی با ساختار SC با ثابت شبکه ۰/۲۸۶۳nm، مقادیر ρ و LP در جهت [۱۱۱] محاسبه کنید.

راه‌حل:



$$\rho_{[111]} = \frac{1}{0/2863 \times \sqrt{3}} = 2/02$$

$$\%LP_{[111]} = \frac{1 \times 2r}{a\sqrt{3}} \times 100 = \frac{1 \times 2r}{2r \times \sqrt{3}} \times 100 = \%57/7$$

۱-۱۰- صفحات بلور شناسی

۱-۱۰-۱- شبکه مکعبی

صفحات بلورین از نظر آرایش اتمی متفاوت هستند و صفحات متراکم، اهمیت زیادی در متالورژی دارند. برای تعیین موقعیت هر صفحه بلورین، از اندیس میلر به شکل $[h \quad k \quad l]$ به صورت زیر استفاده می‌شود:

۱) محورهای مختصات x, y, z و یک نقطه مبدأ مشخص کنید. محل تقاطع صفحه بلورین مورد نظر با محورهای مختصات را تعیین نمایید.

۲) اعداد به دست آمده از محل تقاطع صفحه با محورها را معکوس کنید.

۳) در صورت کسری بودن اعداد، آن‌ها را از حالت کسری خارج کنید.

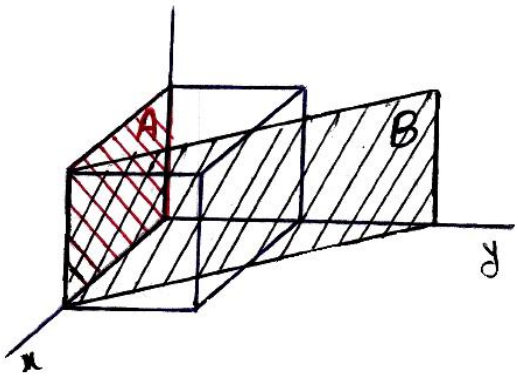
۴) اگر عدد به دست آمده منفی باشد، علامت منفی را در بالای عدد مربوطه قرار دهید.

۵) نتیجه را به صورت $[h \quad k \quad l]$ نمایش دهید.

مثال: در شکل ۱-۱ اندیس میلر صفحات A و B به صورت زیر محاسبه می‌شود.

راه‌حل:

	صفحات A		صفحات B
گام اول:	∞ −۱ ∞	گام اول:	∞ ۲ ۱
گام دوم:	۰ −۱ ۰	گام دوم:	۰ $\frac{1}{2}$ ۱
گام سوم:	$(0 \quad \bar{1} \quad 0)$	گام سوم:	$(0 \quad 1 \quad 2)$



نکات:

۱) صفحات دارای آرایش اتمی یکسان را به صورت $\{h \quad k \quad l\}$ نمایش می‌دهند.

۲) اگر اندیس میلر یک صفحه در عدد صحیحی ضرب شود، آرایش بلورین این دو صفحه کاملاً متفاوت خواهد بود.

۳) صفحات $(h \quad k \quad l)$ و $(\bar{h} \quad \bar{k} \quad \bar{l})$ با هم موازی هستند.

۴) جهت بلورین $[u \quad v \quad w]$ بر صفحه $(h \quad k \quad l)$ عمود است اگر $w = l, \quad v = k, \quad u = h$

۵) جهت بلورین $[u \quad v \quad w]$ با صفحه $(h \quad k \quad l)$ موازی است اگر $h.u + k.v + l.w = ۰$

۶) فاصله بین صفحات (d_{hkl}) با اندیس یکسان ، به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^۲ + k^۲ + l^۲}} \qquad (۶-۱)$$

که a ثابت شبکه است. هر چه اعداد h،k و l برای صفحه‌ای کوچک‌تر باشد، فاصله بین این صفحات طولانی‌تر است.

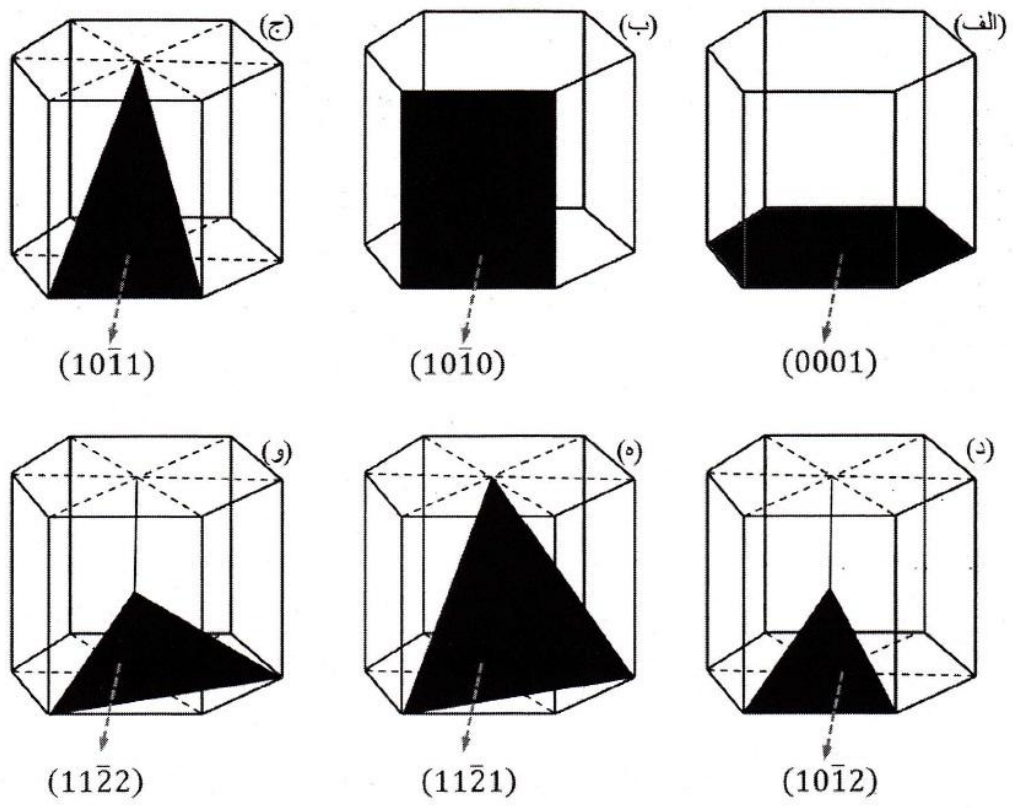
۱-۱۰-۲- سلول واحد HCP

در سلول واحد HCP، سه صفحه بلورین دارای اهمیت زیادی هستند که عبارتند از:

۱) صفحه پایه یا قاعده: دارای فرم کلی $\{۰۰۰۱\}$ است (شکل ۱-۲- الف)

۲) صفحه منشوری: دارای فرم کلی $\{۱۰\bar{۱}۰\}$ می‌باشد (شکل ۱-۲- ب)

۳) صفحه هرمی: بر چهار نوع است (الف) با اندیس میلر به شکل $\{۱۰\bar{۱}۱\}$، (ب) با اندیس میلر $\{۱۰\bar{۱}۲\}$، (ج) با اندیس میلر $\{۱۱\bar{۲}۱\}$ و (د) با اندیس میلر $\{۱۱\bar{۲}۲\}$ (شکل ۱-۲-ج تا ۱-۲- و).



شکل ۱-۲

۱-۱۱- چگالی سطحی و انباشتگی سطحی

چگالی سطحی (PD) به تراکم اتمی یک صفحه بلورین گویند. انباشتگی سطحی (PP) عبارت است از درصدی از یک صفحه بلورین که توسط اتم‌ها پر شده باشد. PD و PP از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

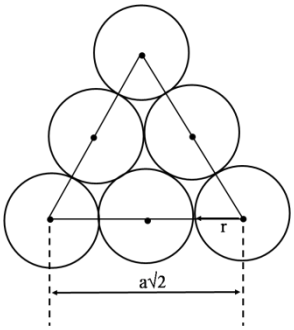
$$\%PD = \frac{n}{A} \times ۱۰۰ \qquad (۷-۱)$$

$$\%PP = \frac{n \times \pi r^{۲}}{A} \times ۱۰۰ \qquad (۸-۱)$$

که A سطح صفحه بلورین است.

مثال: مقدار PP را برای صفحه (۱۱۱) در سلول واحد FCC محاسبه کنید.

راه‌حل:



$$\%PP = \frac{۲ \times \pi r^{۲}}{(\frac{\sqrt{۳}}{۲})a^{۲}} \times ۱۰۰ = \frac{۲ \times \pi r^{۲}}{(\frac{\sqrt{۳}}{۲})(\frac{۴r}{\sqrt{۲}})^{۲}} \times ۱۰۰ = \%۹۱$$

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول

۱- مس دارای ساختمان FCC، شعاع اتمی $۱/۲۷۸A^{\circ}$ و وزن اتمی $۶۳/۵gr$ می‌باشد وزن مخصوص آن چقدر است؟

۱) ۸/۹۴ ۲) ۸/۹۸ ۳) ۸/۸۸ ۴) ۸/۹۲

پاسخ: گزینه «۱»

با توجه به رابطه (۱-۲):

$$\text{حجم سلول واحد} = a^{۳} = (۲\sqrt{۲}r)^{۳} = (۲\sqrt{۲}\times ۱/۲۷۸\times ۱۰^{-۸})^{۳} = ۴/۷۲\times ۱۰^{-۲۳}$$

$$\rho = \frac{۴\times ۶۳/۵۴}{(۴/۷۲\times ۱۰^{-۲۳})(۶/۰۲\times ۱۰^{۲۳})} = ۸/۹۳۴gr/cm^{۳}$$

۲- عدد اتمی گالیم ۲۱ و عدد اتمی ژرمانیم ۲۲ می‌باشد. با توجه به ساختار اتمی کدام یک از جملات زیر صحیح است؟

۱) خواص فیزیکی گالیم از ژرمانیم کمتر است. ۲) هیچ کدام خواص فلزی ندارند.

۳) خواص فلزی گالیم از ژرمانیم بیشتر است. ۴) هیچ کدام

پاسخ: گزینه «۲»

در دوره تناوب از چپ به راست خواص فلزی کاهش می‌یابد. پس خاصیت فلزی گالیم از ژرمانیم بیشتر است.

۳- کدام یک از استحاله‌های آلوتروپی زیر توأم با کمترین درصد تغییرات حجمی می‌باشد؟

۱) $HCP \rightarrow SC$ ۲) $FCC \rightarrow BCC$ ۳) $BCC \rightarrow SC$ ۴) $FCC \rightarrow SC$

پاسخ: گزینه «۲»

$$HCP \rightarrow ۶SC \quad \Delta V = \frac{V_{۲} - V_{۱}}{V_{۱}} = \frac{۶\times ۸r^{۳} - ۳۳/۹r^{۳}}{۳۳/۹r^{۳}} = ۰/۴۱۶$$

$$FCC \rightarrow ۲BCC \quad \Delta V = \frac{۲\times ۱۲/۳r^{۳} - ۲۲/۶r^{۳}}{۲۲/۶r^{۳}} = ۰/۰۸۸$$

$$BCC \rightarrow ۲SC \quad \Delta V = \frac{۲\times ۸r^{۳} - ۱۲/۳r^{۳}}{۱۲/۳r^{۳}} = ۰/۳$$

$$FCC \rightarrow ۴SC \quad \Delta V = \frac{۴\times ۸r^{۳} - ۲۲/۶r^{۳}}{۲۲/۶r^{۳}} = ۰/۴۱۶۱$$

$$V_{(SC)} = a_{۰}^{۳} = (۲r)^{۳} = ۸r^{۳}$$

$$V_{(BCC)} = a_{۰}^{۳} = (\frac{۴r}{\sqrt{۳}})^{۳} = ۱۲/۳r^{۳}$$

$$V_{(FCC)} = a_{۰}^{۳} = (\frac{۴r}{\sqrt{۲}}) = ۲۲/۶r^{۳}$$

$$V_{(HCP)} = \frac{۳\sqrt{۳}}{۲}a^{۲}c = \frac{۳\sqrt{۳}}{۲}(۲r)^{۲}(۱/۶۳۳\times ۲r) = ۳۳/۹۴۷r^{۳}$$

۴- تنگستن با شبکه کریستالی BCC دارای وزن اتمی ۱۸۴ و وزن مخصوص $۱۱۹/۴ g/cm^۳$ می‌باشد. شعاع اتمی آن چقدر است؟

۱) $۱/۱۲A^\circ$ ۲) $۱/۳۶A^\circ$ ۳) $۱/۴۷A^\circ$ ۴) $۲/۲۴A^\circ$

پاسخ: گزینه «۲»

$$۱۹/۴=\frac{۲\times۱۸۴}{a^۳\times۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}}, a=\frac{۴r}{\sqrt{۳}}\rightarrow r=۱/۳۶A^\circ$$

۵- تغییر حجم یک ماده آلوتروپی که شبکه آن از FCC به BCC تبدیل می‌شود (با فرض این که شعاع اتمی تغییر نکند) برابر است با:

۱) ۱/۳ درصد انقباض ۲) ۶/۱ درصد انبساط

۳) ۶/۱ درصد انقباض ۴) ۸/۱ درصد انبساط

پاسخ: گزینه «۴»

$$\Delta V=\frac{V_۲-V_۱}{V_۱}=\frac{۲(\frac{۴r}{\sqrt{۳}})^۳-(\frac{۴r}{\sqrt{۲}})^۳}{(\frac{۴r}{\sqrt{۲}})^۳}=۰/۰۸۸\Rightarrow \%\Delta V=۸/۸\%$$

$FCC\rightarrow ۲BCC$

۶- چگالی اتمی صفحه‌ای در صفحه کریستالی (۱۱۰) در ساختمان کریستالی FCC آلومینیم با شعاع متوسط اتمی $۰/۱۴۳۱۵nm$ بر حسب $at/mm^۲$ برابر است با:

۱) $۴/۳۱\times۱۰^{۱۲}$ ۲) $۲۵/۸۸\times۱۰^{۱۲}$

۳) $۱۲/۹۴\times۱۰^{۱۲}$ ۴) $۸/۶۳\times۱۰^{۱۲}$

پاسخ: گزینه «۴»

اگر تعداد اتم‌ها در صفحه n و مساحت صفحه A باشد، آنگاه چگالی اتمی صفحه (PD) برابر خواهد بود با:

$$PD=\frac{n}{A}=\frac{۴\times\frac{۱}{۴}+۲\times\frac{۱}{۲}}{a\times a\sqrt{۲}}=\frac{۲}{(۲\sqrt{۲}r)^۲\sqrt{۲}}=\frac{۲}{(۲\sqrt{۲}\times۰/۱۴۳۱۵\times۱۰^{-۶})\sqrt{۲}}=۸/۶۳\times۱۰^{۱۲}\ atcm/mm^۲$$

۷- کدام یک از روابط زیر در مورد چگالی اتمی صفحات کریستالی در ساختمان FCC صدق می‌کند.

۱) $\{۱۱۱\}>\{۱۰۰\}>\{۱۱۰\}$ ۲) $\{۱۰۰\}>\{۱۱۰\}>\{۱۱۱\}$

۳) $\{۱۱۰\}>\{۱۱۱\}>\{۱۰۰\}$ ۴) $\{۱۱۱\}>\{۱۱۰\}>\{۱۰۰\}$

پاسخ: گزینه «۱»

$$PD_{\{۱۱۱\}}=\frac{۳\times\frac{۱}{۶}+۳\times\frac{۱}{۲}}{\frac{\sqrt{۳}}{۲}a^۲}=\frac{۲/۳۱}{a^۲}$$

$$PD_{\{۱۰۰\}}=\frac{۴\times\frac{۱}{۴}+۲\times۱}{a\times a}=\frac{۲}{a^۲}$$

$$PD_{\{۱۱۰\}}=\frac{۴\times\frac{۱}{۴}+۲\times\frac{۱}{۲}}{a\times a\sqrt{۲}}=\frac{۱/۴}{a^۲}$$

$$PD_{\{۱۱۱\}}=\{۱۱۱\}>\{۱۰۰\}>\{۱۱۰\}$$

۸- جهت تقاطع دو صفحه‌ی (۱۱۲) و (۱۱۱) با استفاده از اندیس‌های میلر برابر است با:

۱) $[\circ 1\circ]$ ۲) $[1\bar{2}1]$ ۳) $[\bar{1}1\circ]$ ۴) $[1\bar{1}\circ]$

پاسخ: گزینه «۳»

جهت تقاطع دو صفحه با ضرب خارجی اندیس‌های میلر دو صفحه به دست می‌آید.

$$\begin{vmatrix} u & v & w \\ 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} u=-1 \\ v=1 \\ w=\circ \end{vmatrix} \rightarrow [\bar{1}1\circ]$$

۹- اگر تغییرات حجمی در حین دگرگونی‌های فازی آلوتروپیک زیر برابر صفر باشد، نسبت $\frac{c}{a}$ ساختمان هگزاگونال در کدام مورد بزرگ‌تر خواهد بود؟

۱) $FCC \rightarrow HCP$ ۲) $HCP \rightarrow SC$

۳) $BCC \rightarrow HCP$ ۴) نسبت $\frac{c}{a}$ در هر سه مورد ثابت خواهد بود.

پاسخ: گزینه «۲»

$$\Delta V = \circ \rightarrow V_1 = V_2$$

$$3FCC \rightarrow 2HCP : 3V_1 = 2V_2 \rightarrow 3a^3 = 2\times\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2c \rightarrow c/a = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$6SC \rightarrow HCP : 6V_1 = V_2 \rightarrow 6a^3 = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2c \rightarrow c/a = \frac{4}{\sqrt{3}}$$

$$3BCC \rightarrow HCP : 3V_1 = V_2 \rightarrow 3a^3 = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2c \rightarrow c/a = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

۱۰- اگر شعاع اتمی فلزی با شبکه کریستالی BCC برابر $1/238\times10^{-10}$ متر باشد. اندازه ثابت شبکه a آن چقدر است؟

۱) $3/803\times10^{-10}$ m ۲) $2/859\times10^{-10}$ m

۳) $1/7751\times10^{-10}$ m ۴) $4/052\times10^{-10}$ m

پاسخ: گزینه «۲»

$$a = \frac{4r}{\sqrt{3}} = \frac{4\times1/2238\times10^{-10}}{\sqrt{3}} = 2/859\times10^{-10}\ m$$

۱۱- کدام یک از صفحات کریستالی زیر، دارای کمترین چگالی اتمی می‌باشد؟

۱) $\{100\}SC$ ۲) $\{100\}FCC$ ۳) $\{100\}BCC$ ۴) گزینه‌های ۱ و ۲

پاسخ: گزینه «۳»

$$PD_{\{100\}BCC} = \frac{4\times\frac{1}{4}}{a^2} = \frac{1}{a^2} = \frac{3}{16r^2}$$

$$PD_{\{100\}SD}=\frac{4\times\frac{1}{4}}{a^2}=\frac{1}{a^2}=\frac{1}{4r^2}$$

$$PD_{\{100\}FCC}=\frac{4\times\frac{1}{4}+1}{a^2}=\frac{2}{a^2}=\frac{2}{8r^2}=\frac{1}{4r^2}$$

۱۲- یک کریستال مکعبی به حجم $1cm^3$ از $2/235\times10^{22}$ سلول واحد تشکیل شده است. اگر شعاع اتمی برابر $1/255^\circ A$ باشد، نوع ساختمان مکعبی این کریستال را تعیین کنید.

۱) SC ۲) BCC ۳) FCC ۴) BCT

پاسخ: گزینه «۳»

$$\text{حجم یک سلول}=\frac{10^{24}}{2/235\times10^{22}}=47/4$$

$$BCC\rightarrow a=\frac{4r}{\sqrt{3}}=\frac{4\times1/255}{\sqrt{3}}=2/89^\circ A$$

$$FCC\rightarrow a=\frac{4r}{\sqrt{2}}=\frac{4\times1/255}{\sqrt{2}}=3/62^\circ A$$

$$V=a^3\rightarrow a=\sqrt[3]{47/4}=3/62^\circ A$$

$$SC\rightarrow a=2r=2\times1/255=2/51^\circ A$$

۱۳) فلز نیکل دارای بلور مکعب با وجوه مرکز پر FCC شعاع اتمی $1/246^\circ A$ و جرم اتمی ۵۸/۷۱ گرم است. چگالی این فلز چقدر است؟

۱) $7/22g/cm^3$ ۲) $8/95g/cm^3$ ۳) $8/1g/cm^3$ ۴) $7/6g/cm^3$

پاسخ: گزینه «۲»

$$\rho=\frac{4\times58/71}{(6/02\times10^{23})(2\sqrt{2}\times1/246\times10^{-8})^3}=8/91gr/cm^3$$

۱۴) متراکم‌ترین جهت کریستال در میان گزینه‌های زیر کدام است؟

۱) $[100]SC$ ۲) $[110]BCC$ ۳) $[111]FCC$ ۴) $[0001]HCP$

پاسخ: گزینه «۱»

$$LD_{[100]SC}=\frac{2\times\frac{1}{2}}{a}=\frac{1}{2r}$$

$$LD_{[111]FCC}=\frac{2\times\frac{1}{2}}{a\sqrt{3}}=\frac{1}{a\sqrt{3}}=\frac{1}{\frac{4r}{\sqrt{2}}\times\sqrt{3}}=\frac{1}{4/89r}$$

$$LD_{[110]BCC}=\frac{2\times\frac{1}{2}}{a\sqrt{2}}=\frac{1}{a\sqrt{2}}=\frac{1}{\frac{4r}{\sqrt{3}}\times\sqrt{2}}=\frac{1}{3/26r}$$

$$LD_{[0001]HCP}=\frac{2\times\frac{1}{2}}{C}=\frac{1}{C}=\frac{1}{1/633\times2r}=\frac{1}{3/2r}$$

۱۵- Packing Factor سیلیکون که به صورت مکعب الماسی (Diamond Cubic) می‌باشد برابر است با:

۱) ۰/۷۴ ۲) ۰/۷۲۵ ۳) ۰/۶۴ ۴) ۰/۳۴

پاسخ: گزینه «۴»

شبکه الماسی: $a=\frac{8r}{\sqrt{3}}$

با توجه به رابطه (۱-۱)

$$PF=\frac{n\times V_{atom}}{V_{cell}}=\frac{3\times\frac{4}{3}\pi r^3}{(\frac{8r}{\sqrt{3}})^3}=0/34$$

۱۶- فلز تیتانیوم دارای ساختار HCP در دمای معمولی می‌باشد. با توجه به این که شعاع متوسط اتمی آن تقریباً ۰/۱۶۴nm می‌باشد، دانسیته آن برابر است با: (وزن اتمی ۴۷/۹gr)

۱) $4/5g/cc$ ۲) $4/9g/cc$ ۳) $5/3g/cc$ ۴) $5/7g/cc$

پاسخ: گزینه «۱»

$$\rho=\frac{6\times47/9}{(6/023\times10^{23})(\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2c)}=\frac{6\times47/9}{(6/023\times10^{23})\left[\frac{3\sqrt{3}}{2}\times4\times3/26\times(0/146\times10^{-7})^3\right]}=4/5g/cm^3=4/5g/cc$$

۱۷- کدام یک از صفحات کریستالی زیر در ساختمان مکعبی ساده دارای بیشترین چگالی اتمی است؟

۱) (100) ۲) (110) ۳) (111) ۴) (112)

پاسخ: گزینه «۱»

$$PD_{(100)}=\frac{4\times\frac{1}{4}}{a^2}=\frac{1}{a^2}$$

$$PD_{(110)}=\frac{4\times\frac{1}{4}}{a\times a\sqrt{2}}=\frac{1}{a^2\sqrt{2}}$$

$$PD_{(111)}=\frac{3\times\frac{1}{6}}{\frac{\sqrt{3}}{4}(a\sqrt{2})^2}=\frac{1}{a^2\sqrt{3}}$$

۱۸- درصد تغییر حجم نسبی تئوریک در تحول آلوتروپیک یک فلز خالص از ساختمان کریستالی FCC به ساختمان کریستالی BCC چند درصد است؟

۱) ۸/۱ ۲) ۴/۸ ۳) $-8/1$ ۴) $-4/8$

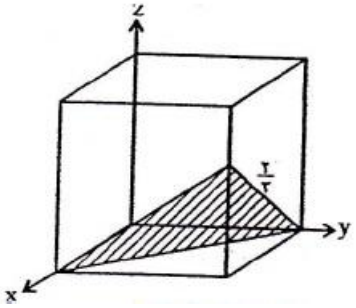
پاسخ: گزینه «۱»

$$FCC \rightarrow ۲BCC$$

$$\Delta V = \frac{V_۲ - V_۱}{V_۱}$$

$$\Delta V = \frac{۲(\frac{۴r}{\sqrt{۳}})^۳ - (\frac{۴r}{\sqrt{۲}})^۳}{(\frac{۴r}{\sqrt{۲}})^۳} = ۰/۰۸۸ \Rightarrow \%\Delta V = \%۸/۸$$

۱۹- اندیس میلر صفحه‌ی کریستالی نشان داده شده در شکل برابر با کدام مورد است؟



۱) $(\bar{۳}۲۲)$

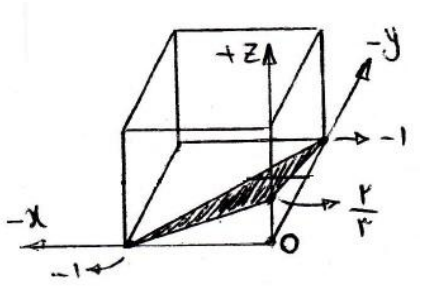
۲) $(\bar{۲}\bar{۲}۳)$

۳) (۲۲۳)

۴) $(۳\bar{۲}\bar{۲})$

پاسخ:گزینه «۲»

مبدأ مختصات را در نقطه O اختیار می‌کنیم:



گام اول: $\frac{۲}{۳}$ ۱− ۱−

گام دوم: $\frac{۳}{۲}$ ۱− ۱−

گام سوم: ۳ ۲− ۲−

گام چهارم: $(\bar{۲}$ $\bar{۲}$ ۳)

۲۰- کدام یک از صفحات کریستالی زیر در ساختمان‌های مکعبی متعلق به محور منطقه‌ای (ناحیه) $[۱۲۳]$ می‌باشد؟

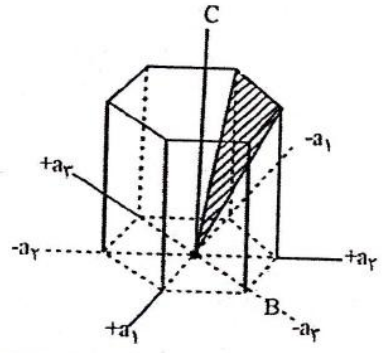
۱) (۲۱۰) ۲) $(۱\bar{۲}۰)$ ۳) $(۱۱\bar{۱})$ ۴) (۳۰۱)

پاسخ: گزینه «۳»

$$\text{شرط} \Rightarrow hu + kv + lw = ۰$$

$$hu + kv + lw = ۰ \rightarrow ۱(۱) + ۲(۱) + ۳(-۱) = ۰$$

۲۱- اندیس میلر- براوه صفحه کریستالی نشان داده شده در شکل کدام است؟



۱) $(۱\bar{۱}۰)$

۲) $(۱\bar{۱}۲۰)$

۳) $(۱\bar{۱}۰۱)$

۴) $(\bar{۱}\bar{۱}۲۰)$

پاسخ: گزینه «۳»

مبدأ را به مرکز قاعده بالا منتقل کنید. در این صورت:

(h محل تقاطع صفحه با محور a_1 ;k محل تقاطع صفحه با محور a_2 و l محل تقاطع صفحه با محور c)

گام اول	گام دوم	
$h=-1$	$h=-1$	
$k=+1$	$k=+1\Rightarrow$	اندیس میلر $=(\bar{1}1\circ\bar{1})\xrightarrow{\times -1}(1\bar{1}\circ 1)$
$m=-(h+k)$	$m=\circ$	
$l=-1$	$l=-1$	

۲۲- اگر یک کریستال FCC در یک استحاله آلوتروپیک ایده‌آل، به ساختمان BCC تغییر ساختمان بدهد، ثابت شبکه آن چند برابر خواهد شد؟

۱) ۰/۵۷۷ ۲) ۰/۸۱۶ ۳) ۱/۲۲۵ ۴) ۱/۷۳۲

پاسخ: گزینه «۲»

$$FCC\rightarrow BCC,\quad a_{FCC}=\frac{4r}{\sqrt{2}},\quad a_{BCC}=\frac{4r}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{a_{BCC}}{a_{FCC}}=\frac{\frac{4r}{\sqrt{3}}}{\frac{4r}{\sqrt{2}}}=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}=\circ/816$$

۲۳- حجم سلول واحد یک کریستال HCP برابر $\circ/106 nm^3$ است. اگر نسبت $\frac{c}{a}$ این کریستال برابر ۱/۵۹ باشد، شعاع اتمی بر حسب A° چقدر است؟

۱) ۱/۶۸ ۲) ۱/۵۸ ۳) ۱/۴۸ ۴) ۱/۳۸

پاسخ: گزینه «۳»

$$V_{HCP}=\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2c\rightarrow 106=\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2(1/59a)\rightarrow a=2/949^\circ A;\quad a=2r\rightarrow r=\frac{2/949}{2}=1/47^\circ A$$

۲۴- در کدام یک از استحاله‌های آلوتروپیک تعداد سلول‌های واحد کریستال دو برابر می‌شود؟

۱) $FCC\rightarrow BCC$ ۲) $FCC\rightarrow SC$ ۳) $BCC\rightarrow HCP$ ۴) $SC\rightarrow BCC$

پاسخ: گزینه «۱»

تعداد اتم‌ها در سلول‌های واحد شبکه‌های SC، BCC، FCC و HCP به ترتیب برابر ۱ و ۲ و ۴ و ۶ است.

$$FCC\rightarrow 2BCC$$

۲۵- ثابت شبکه یک کریستال FCC برابر $3^\circ A$ می‌باشد. تعداد اتم‌های واقع بر هر mm^2 از صفحه (100) این کریستال چقدر است؟

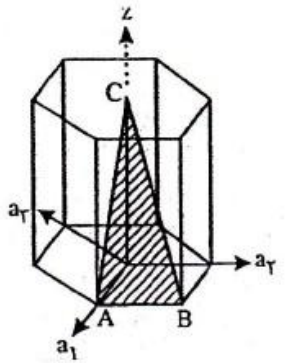
۱) $2/22\times10^9$ ۲) $2/22\times10^{10}$ ۳) $2/22\times10^{11}$ ۴) $2/22\times10^{12}$

پاسخ: گزینه صحیح وجود ندارد.

$$\text{تعداد صفحات }(100)=\frac{1}{(3\times10^{-7})^2}1/11\times10^{13}\times2=2/22\times10^{13}$$

$$\text{تعداد اتم‌ها}=\text{تعداد صفحات }(100)\times\text{تعداد اتم‌های روی }(100)=1/11\times10^{13}\times2=2/22\times10^{13}$$

۲۶- در شبکه هگزاگونال روبرو اندیس صفحه‌ی ABC چیست؟



۱) $(1\bar{1}01)$

۲) $(2\bar{1}\bar{1}1)$

۳) $(10\bar{1}1)$

۴) $(\bar{1}010)$

پاسخ: گزینه «۳»

با توجه به شکل

گام اول	گام دوم	
$h=+1$	$h=1$	
$k=\infty$	$k=0 \Rightarrow$	اندیس میلر $=(10\bar{1}1)$
$m=-(h+k)$	$m=-1$	
$l=+1$	$l=1$	

۲۷- نسبت چگالی اتمی صفحه‌ی کریستالی (110) به صفحه‌ی (100) در ساختمان مکعبی ساده چقدر است؟

۱) $\frac{1}{2}$ ۲) ۲ ۳) $\frac{2}{\sqrt{2}}$ ۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

پاسخ گزینه ۴

$$PD_{(110)}=\frac{4\times\frac{1}{4}}{a\times a\sqrt{2}}=\frac{1}{a^2\sqrt{2}}$$

$$PD_{(100)}=\frac{4\times\frac{1}{4}}{a}=\frac{1}{a^2}$$

$$\frac{PD_{(110)}}{PD_{(100)}}=\frac{\frac{1}{a^2\sqrt{2}}}{\frac{1}{a^2}}=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

۲۸- در یک استحاله آلوتروپیک ایده‌آل از ساختمان FCC به ساختمان مکعبی ساده، ثابت شبکه کریستال چند برابر می‌شود؟

۱) $\frac{2}{\sqrt{2}}$ ۲) $\frac{1}{2}$ ۳) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ۴) ۴

پاسخ: گزینه «۳»

$$a_{SC}=2r,\quad a_{FCC}=2\sqrt{2}r \rightarrow \frac{a_{SC}}{a_{FCC}}=\frac{2r}{2\sqrt{2}r}=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

۲۹- در شبکه مکعبی اندیس صفحه‌ای که دو جهت $[\bar{1}11]$ و $[001]$ را شامل می‌شود، کدام است؟

۱) $(\bar{1}10)$ ۲) $(1\bar{1}0)$ ۳) (011) ۴) (110)

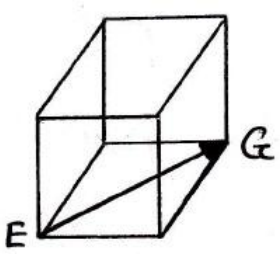
پاسخ: گزینه «۴»

برای تعیین میلر صفحه‌ای که دو جهت را شامل شود، نیاز به ضرب خارجی اندیس میلر دو جهت است:

$$\begin{vmatrix} i & j & k \\ -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = i(1-0) - j(-1-0) + k(0-0) = i + j \rightarrow (110)$$

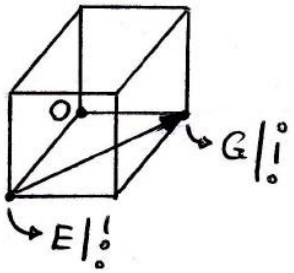
۳۰- مختصات خط $\overrightarrow{EG}$ در مکعب مقابل کدام است؟

۱) $[0\bar{1}1]$ ۲) $[\bar{1}10]$ ۳) $[110]$ ۴) $[1\bar{1}2]$



پاسخ: گزینه «۲»

اگر مبدأ را نقطه O در مکعب تعیین کنیم، آنگاه مختصات ابتدای نقطه یعنی E، ۱۰۰ و مختصات انتهای آن، یعنی G، ۰۱۰ خواهد بود. با کم کردن مختصات ابتدا از انتهای جهت، اندیس میلر آن محاسبه می‌شود.



$$[u \quad v \quad w]_{\xrightarrow{EG}} \equiv 010 - 100 \Rightarrow [u \quad v \quad w]_{\xrightarrow{EG}} = [\bar{1}10]$$

۳۱- صفحه‌ای در یک بلور، محور a را به اندازه ۴mm، محور b را به اندازه ۲mm و محور c را به اندازه ۳mm قطع می‌کند. نسبت $a_\circ : b_\circ : c_\circ = 2:2:3$ می‌باشد. اندیس میلر این صفحه کدام است؟

۱) (212) ۲) (324) ۳) (122) ۴) (322)

پاسخ: گزینه «۳»

فرض کنید که $a_\circ = 2 \quad b_\circ = 2 \quad c_\circ = 3$. همچنین، بنا به فرض $a = 4, \quad b = 2, \quad c = 3$. در این صورت، مکعب زیر دارای صفحه مورد نظر حاصل خواهد شد:

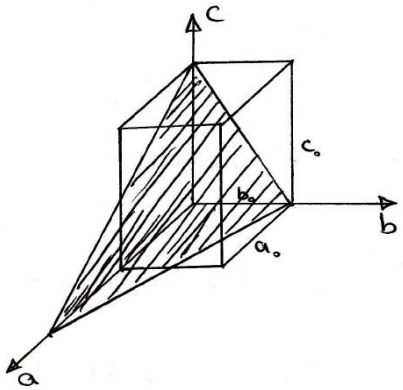
اگر $a_\circ, b_\circ, c_\circ$ را برابر ۱ فرض کنیم، در این صورت a, b, c معادل ۲، ۱، ۱ خواهد بود. به این ترتیب:

گام اول: ۱ ۱ ۲

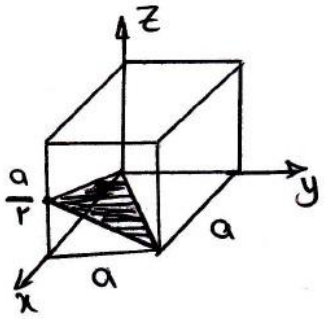
گام دوم: ۱ ۱ $\frac{1}{2}$

گام سوم: ۲ ۲ ۱

گام چهارم: (۲ ۲ ۱)



۳۲- اندیس میلر صفحه نشان داده شده کدام است؟

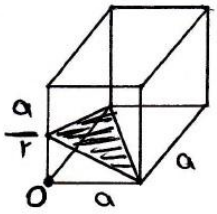


۱) $(\bar{1}12)$ ۲) (221)

۳) $(11\bar{2})$ ۴) $(22\bar{1})$

پاسخ: گزینه «۱»

مرکز یا مبدأ مکعب را با توجه به شکل مقابل، در نقطه O انتخاب می‌کنیم. به این ترتیب:



گام اول: $\frac{1}{2}$ ۱ −۱

گام دوم: ۲ ۱ −۱

گام سوم: (۲ ۱ $\bar{1}$)

۳۳- عدد همسایگی یک اتم قرار گرفته در مرکز بلور NaCl چیست؟

۱) ۸ ۲) ۱۲ ۳) ۶ ۴) ۴

پاسخ: گزینه «۳»

در بلور NaCl عدد همسایگی برابر ۶ می‌باشد.

۳۴- کدام یک از خطوط زیر بر صفحه (۱ ۱ ۱) در سیستم تبلور کیوبیک منطبق هستند؟

$[1\ 1\ 0],[0\ \bar{1}\ 1],[1\ 1\ 1],[1\ 0\ 1]$

۱) $[1\ 1\ 1]$ ۲) $[0\ \bar{1}\ 1]$ ۳) $[1\ 0\ 1]$ ۴) $[1\ 1\ 0]$

پاسخ: گزینه «۲»

برای آن که خطی روی یک صفحه باشد، باید ضرب داخلی اندیس‌های میلر خط و صفحه برابر صفر شود.

۳۵- زاویه بین صفحات (۱ ۱ ۱) و (۰ ۱ ۱) در یک سیستم مکعبی مساوی است با:

۱) ۴۵° ۲) ۳۸° ۳) ۴۲/۵° ۴) ۳۵/۵°

پاسخ: گزینه «۴»

در ساختمان‌های مکعبی $\cos\theta = \dfrac{h_1h_2 + k_1k_2 + l_1l_2}{\sqrt{\left(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2\right)\left(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2\right)}}$

$$\cos\theta = \frac{1+1+0}{\sqrt{2\times 3}} = \frac{2}{\sqrt{6}} \Rightarrow \theta \simeq 35/2^\circ$$

۳۶- تراکم اتمی (کسر اشغال شده حجمی توسط اتم‌ها) در سیستم مکعبی ساده، BCC و FCC به ترتیب مساوی است با:

۱) ۰/۸۶, ۰/۷۴, ۰/۶۸ ۲) ۰/۷۴, ۰/۵۲, ۰/۴۵

۳) ۰/۷۴, ۰/۶۸, ۰/۴۵ ۴) ۰/۷۴, ۰/۶۸, ۰/۵۲

پاسخ: گزینه «۴»

$PF_{(FCC)} = ۰/۷۴$

$PF_{(BCC)} = ۰/۶۸$

$PF_{(SC)} = ۰/۵۲$

۳۷- پارامتر شبکه یک عنصر با ساختار BCC و جرم اتمی ۱۸۳/۹۲ و دانسیته ۱۹/۲۹ مساوی است با: (عدد آووگادرو = $۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}$)

۱) $۳/۱۶۴°A$ ۲) $۴/۱۲۵°A$ ۳) $۳/۴۲۵°A$ ۴) $۳/۲۴۸°A$

پاسخ: گزینه «۱»

$$\rho = \frac{M}{V_{cell}} = \frac{n\times Z}{N_A \times V_{cell}} \Rightarrow \frac{۲\times۱۸۳/۹۲}{۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}\times V_{cell}} \Rightarrow V_{cell} = a^۳ = ۳/۱۶۷\times۱۰^{-۲۳}$$

$$\Rightarrow a = ۳/۱۶\times۱۰^{-۸}\ cm = ۳/۱۶°A$$

۳۸- دانسیته سطحی صفحه (۱ ۱ ۰) را در یک سلول واحد FCC محاسبه کنید.

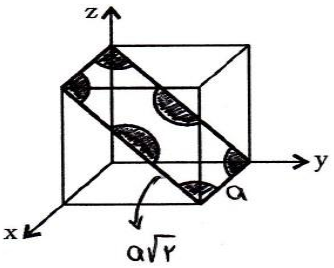
۱) $\frac{۲}{a^۲}$ ۲) $\frac{۱}{a^۲}$ ۳) $\frac{\sqrt{۲}}{۲a^۲}$ ۴) $\frac{\sqrt{۲}}{a^۲}$

پاسخ: گزینه«۴»

(۱ ۱ ۰) تعداد اتم در صفحه $= ۲ = (۴\times\frac{۱}{۴}) + (۲\times\frac{۱}{۲})$

(۱ ۱ ۰) مساحت صفحه $= a\sqrt{۲}\times a$

$$PD_{(۱\ ۱\ ۰)} = \frac{۲}{a^۲\sqrt{۲}} = \frac{\sqrt{۲}}{a^۲}$$



۳۹- فاصله بین صفحه‌های (۲ ۲ ۳) در ساختمان مکعبی FCC که دارای ثابت شبکه $۴/۵°A$ باشد، کدام است؟

۱) ۱/۰۹ ۲) ۰/۲۶ ۳) ۰/۶۴ ۴) ۴/۹۱

پاسخ: گزینه «۱»

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^۲ + k^۲ + l^۲}} \Rightarrow d_{(۳۲۲)} = \frac{۴/۵}{\sqrt{۳^۲ + ۲^۲ + ۲^۲}} = ۱/۰۹°A$$