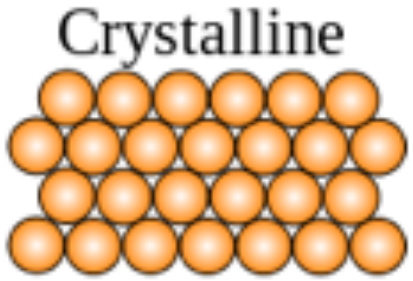
به نام خدا

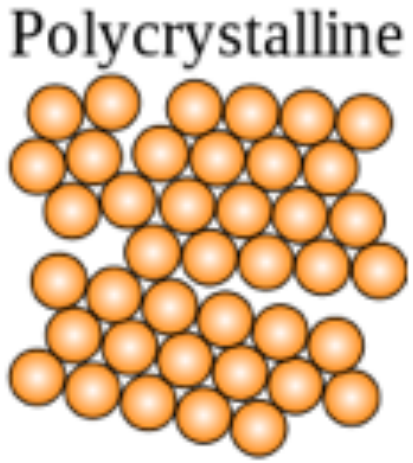
فیزیک الکترونیک
مواد نیمه هادی

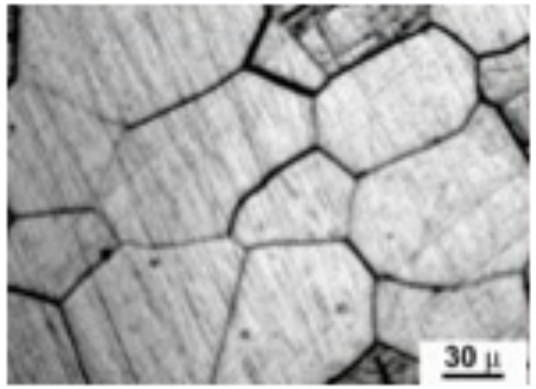
ارائه دهنده: حسین کرمی طاهری
برگرفته از محتوای آموزشی پروفسور Mark Lundstrom

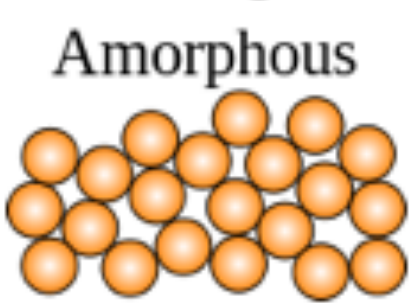
مواد نیمه هادی

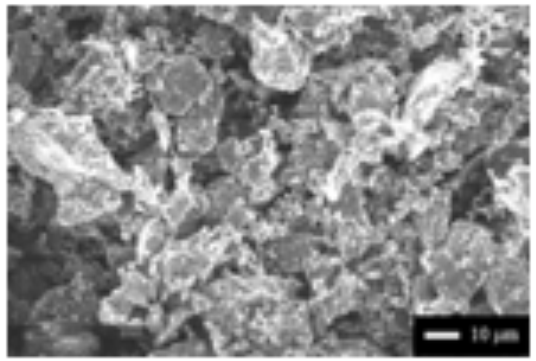
- کریستال (Crystal): دارای نظم و قاعده. هر اتم موقعیت مشخصی در شبکه کرسیتالی دارد.
- چند بلور(Polycrystalline): شامل نواحی (grains) کریستالی با اندازه ها و جهت گیری های متفاوت
- آمورف (Amorphous): بدون نظم و قاعده. اتم ها تقریبا به صورت تصادفی در ماده پخش شده اند.







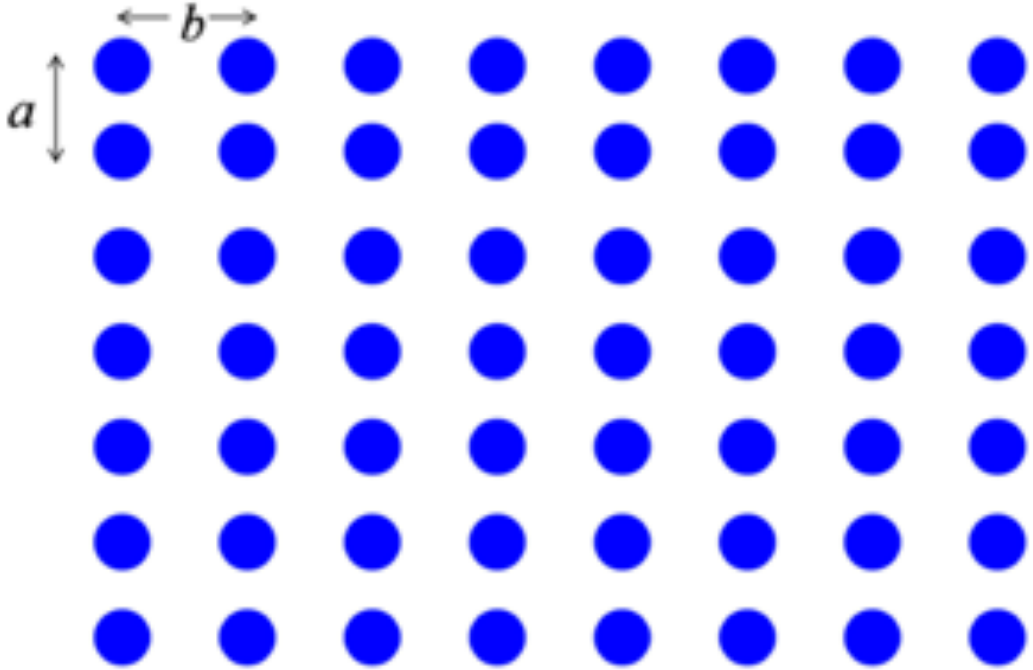


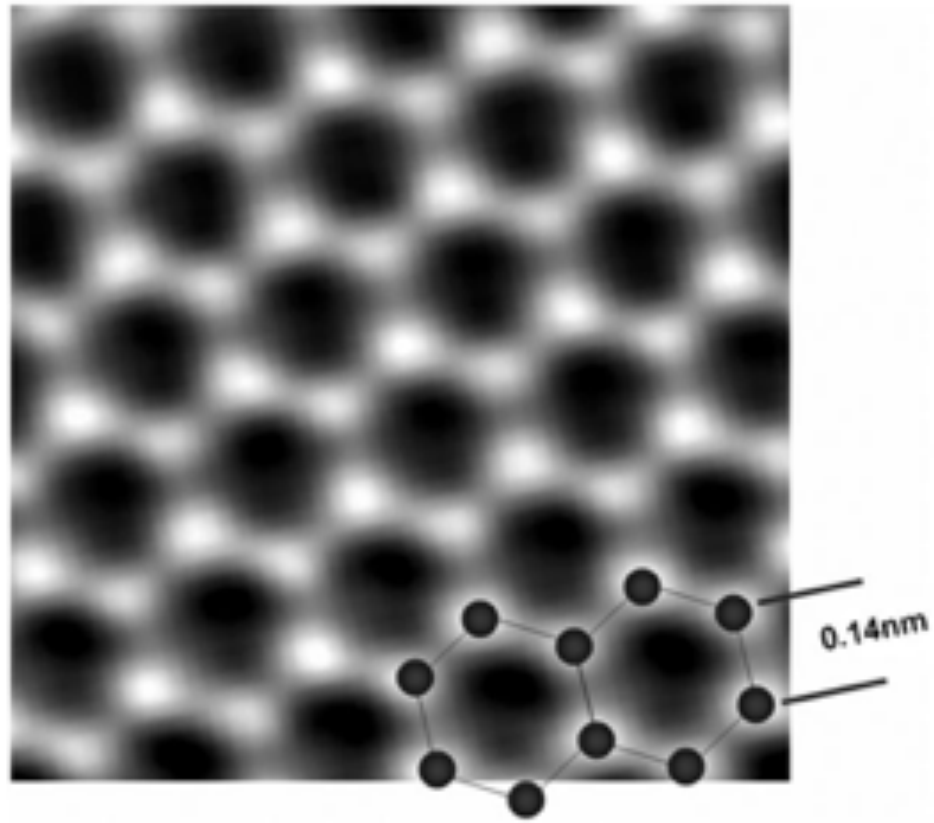


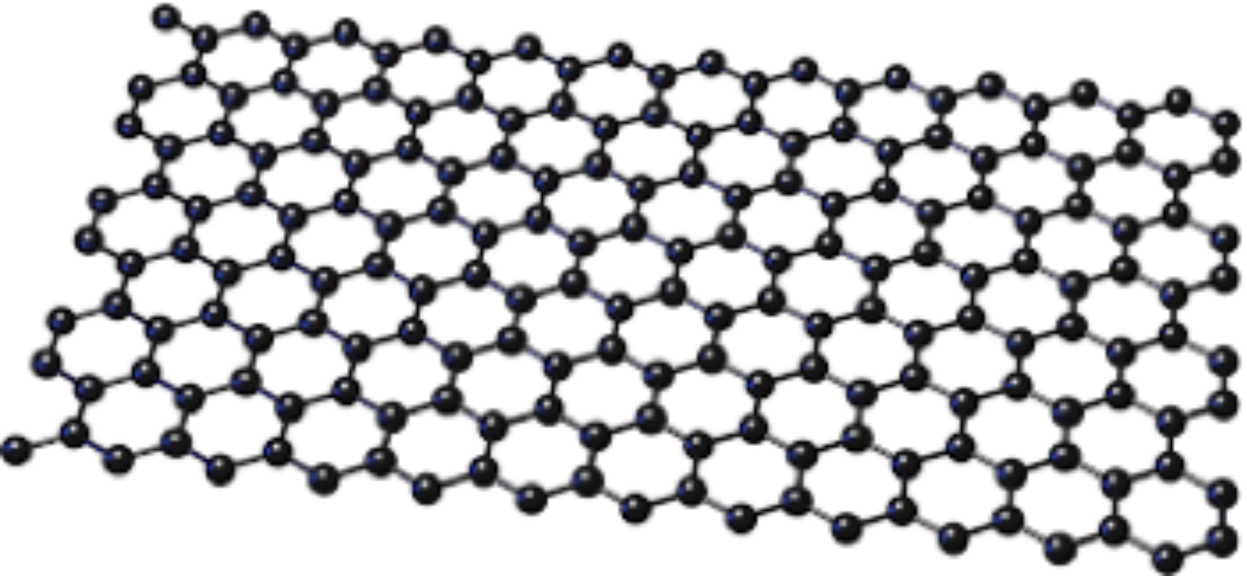
مقایسه انواع نیمه هادی ها

- نیمه هادی های کریستالی: گرانقیمت اما با کیفیت. دارای نقص های (Defects) های کم
- نیمه هادی های چند بلوری: ارزان تر نسبت به نیمه هادی های کریستالی. مرز نواحی در برابر جریان مقاومت می کند. زمانی استفاده می شوند که هزینه بر کیفیت برتری دارد (مانند سلول های خورشیدی)
- نیمه هادی های آمورف: بسیار ارزان قیمت. خصوصیات الکتریکی بسیار ضعیف. زمانی استفاده می شوند که هزینه بسیار اهمیت داشته باشد (مانند صفحات نمایش تخت)

کریستال دو بعدی

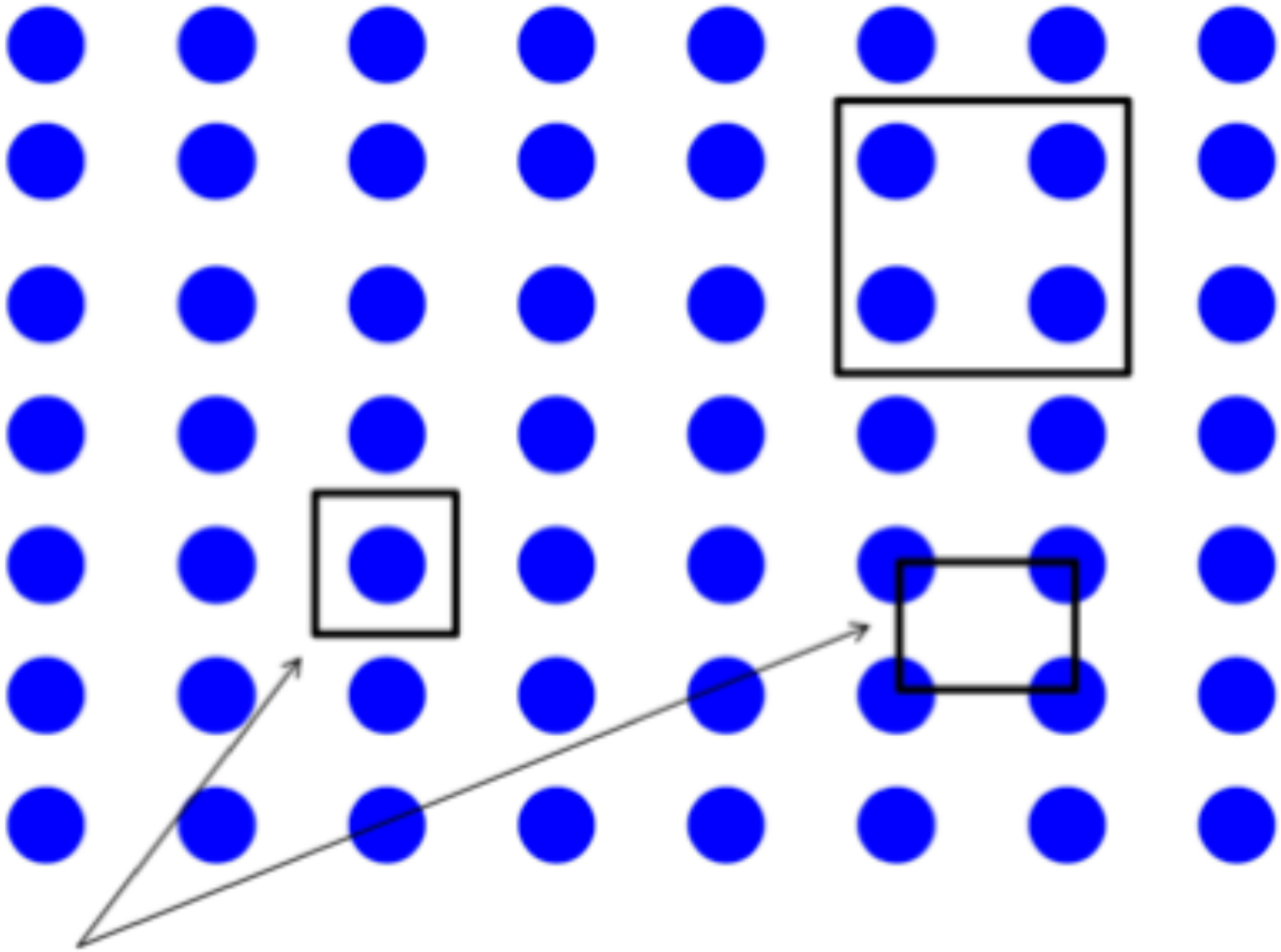






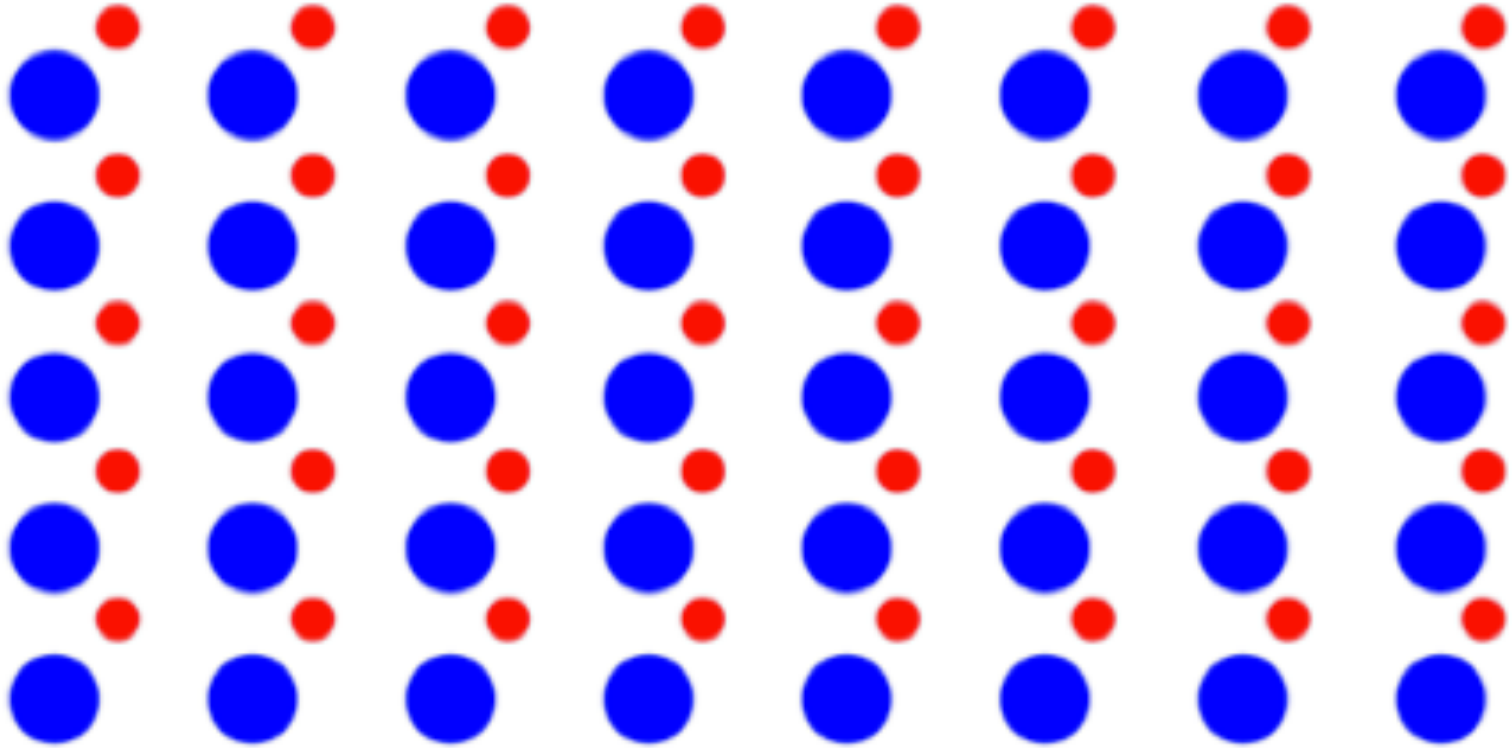
گرافن: جایزه نوبل فیزیک ۲۰۱۱. یک صفحه به ضخامت تک اتم از کربن در شبکه لانه زنبوری

سلول واحد (Unit Cell)

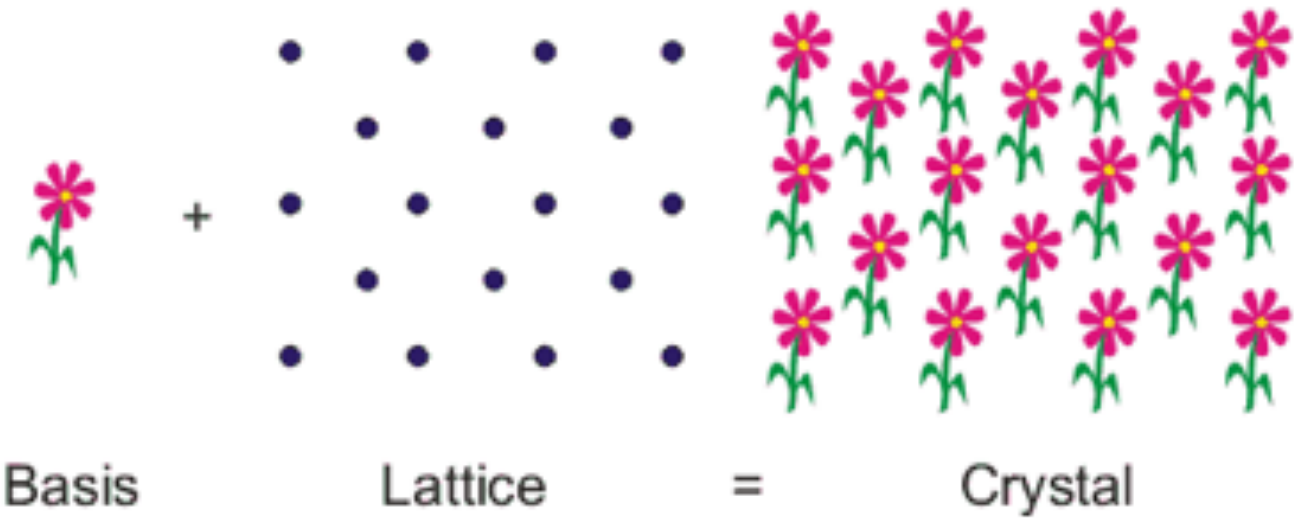


- سلول واحد در ساختار کریستالی به صورت متناوب تکرار می شود
- سلول واحد اصلی این ساختار کریستالی دارای یک نقطه شبکه است.

پایه (Basis)



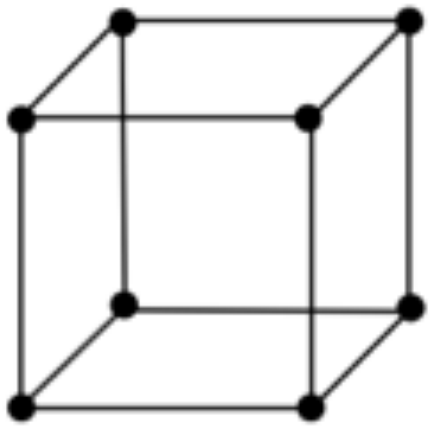
- اتم یا دسته ای از اتم ها که عینا به همه ی نقاط شبکه اختصاص می یابد.



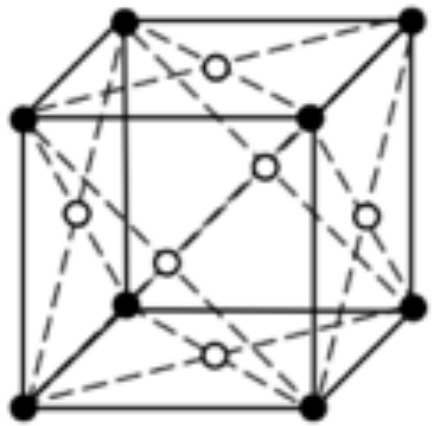
- پایه + شبکه= نیمه هادی کریستالی

ساختارهای کریستالی سه بعدی

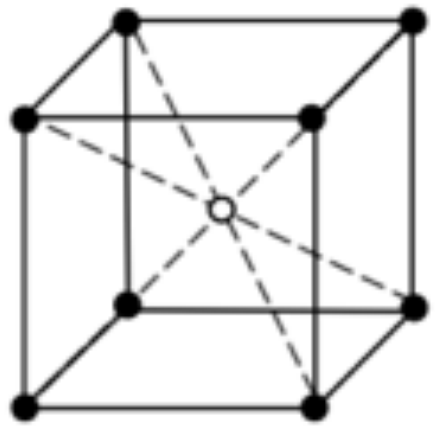
- در سه بعد ۱۴ روش مختلف وجود دارد تا نقاط شبکه را به نحوی مرتب کنیم که تا از منظر تمامی نقاط شبکه تفاوتی وجود نداشته باشد ⇐ ۱۴ شبکه براوه (Bravais)
- از ۱۴ شبکه براوه در سه بعد، سه شبکه مکعبی وجود دارد.
- سلول های واحد متداول (conventional) رسم شده اند، نه اصلی (primitive)



simple cubic

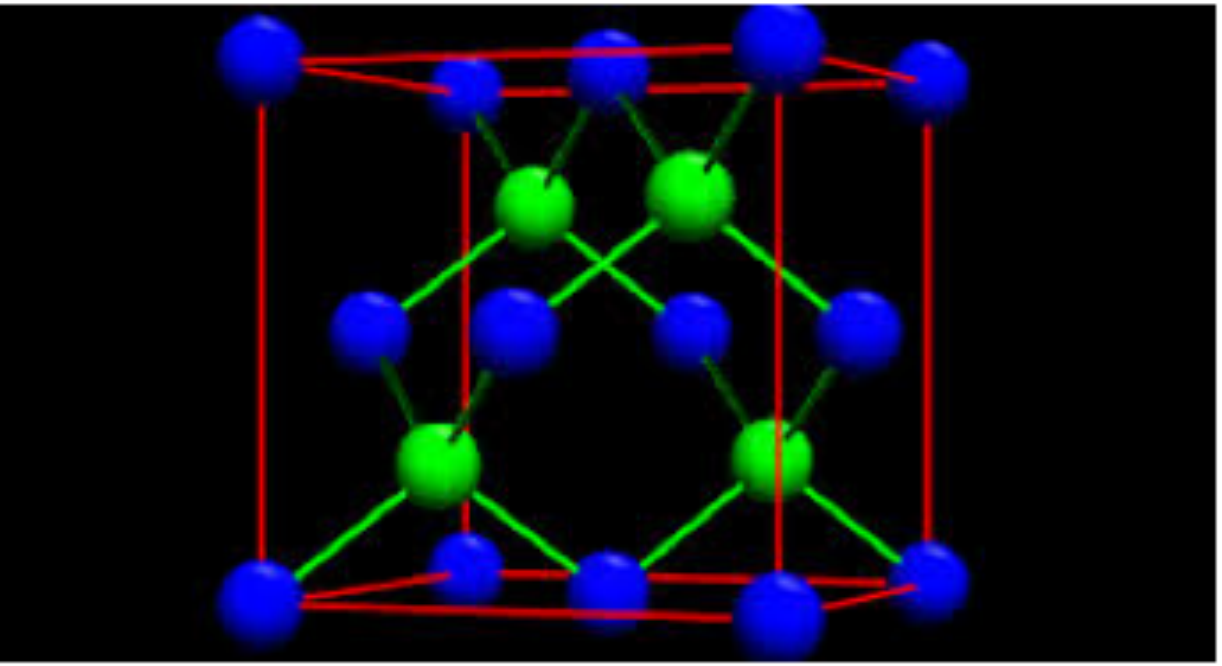


face centered cubic



body centered cubic

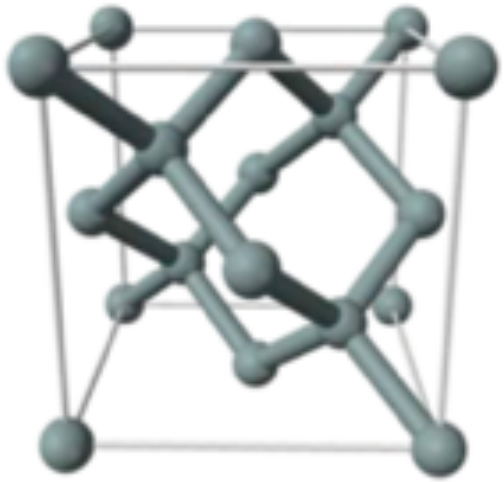
شبکه الماس (Diamond Lattice)

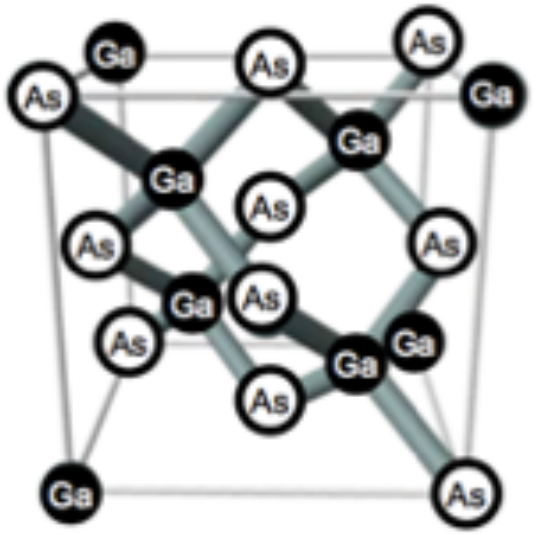


- دو شبکه fcc که به اندازه یک چهارم قطر اصلی نسبت به هم جابه‌جا شده اند.
- مانند Si و Ge

- تفاوت با شبکه Zinc Blende
- مانند GaAs

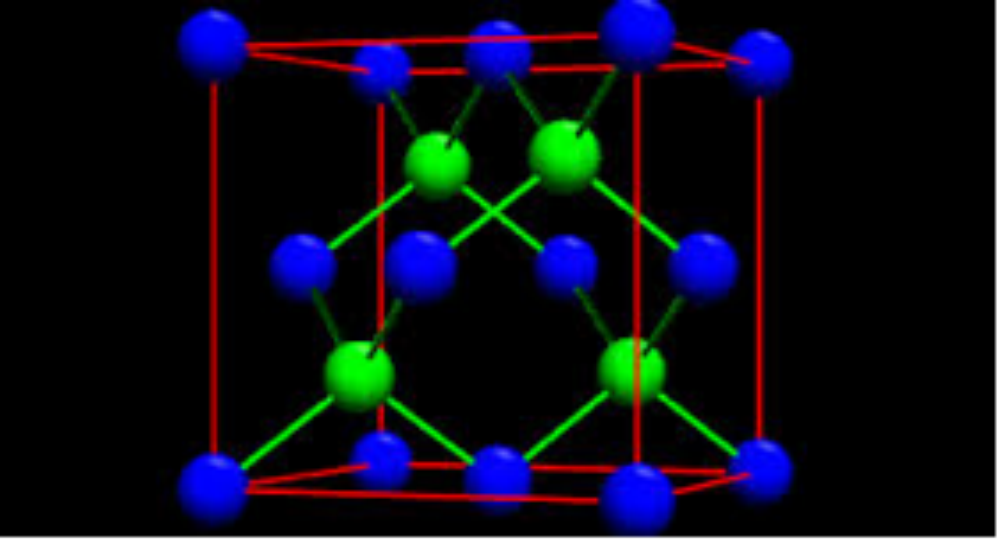
Si

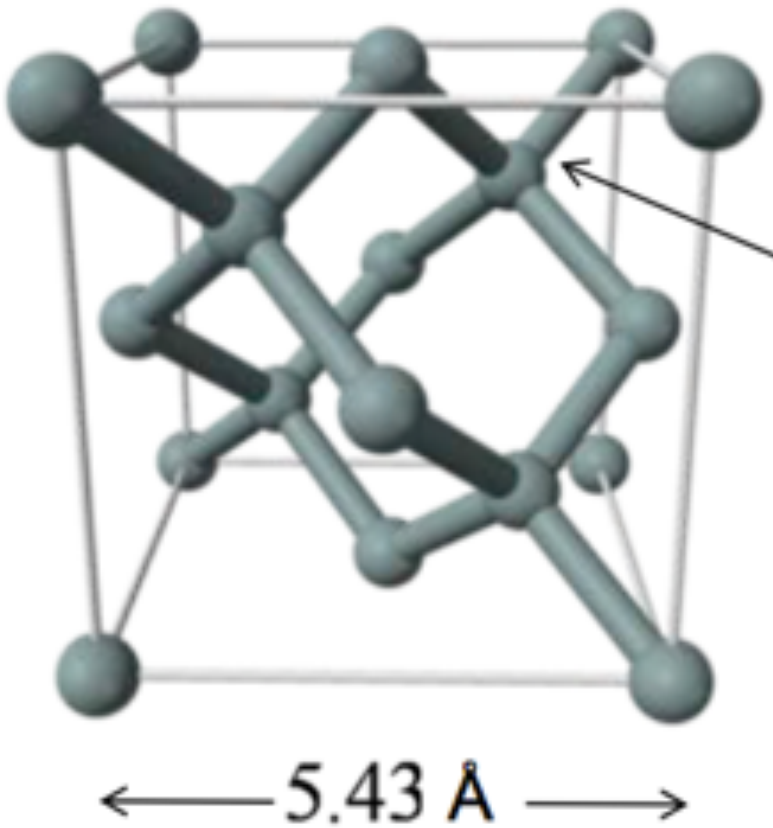




GaAs

ساختار سیلیکن





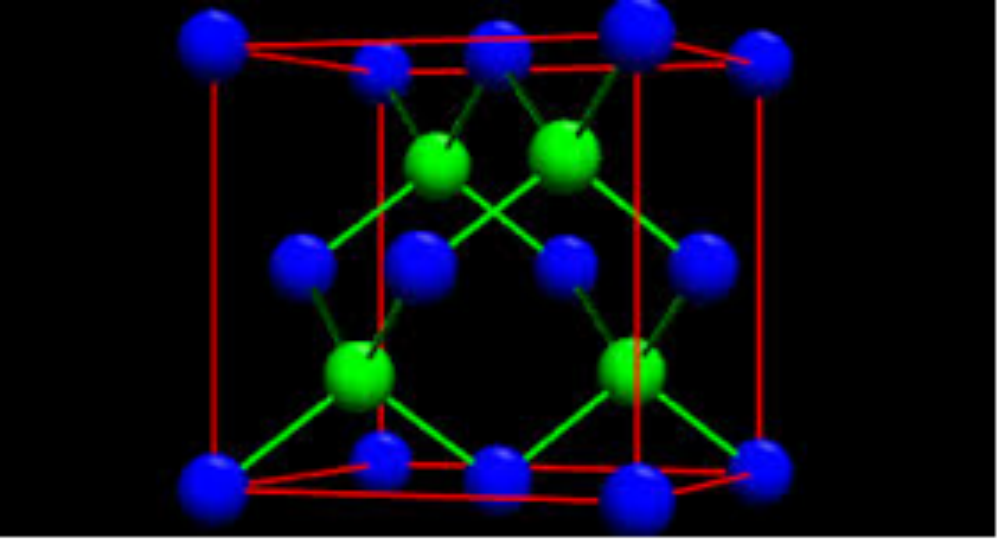
- ثابت شبکه: $a = 5.4307\text{Å}$
- تعداد اتم ها در سلول واحد (متداول):

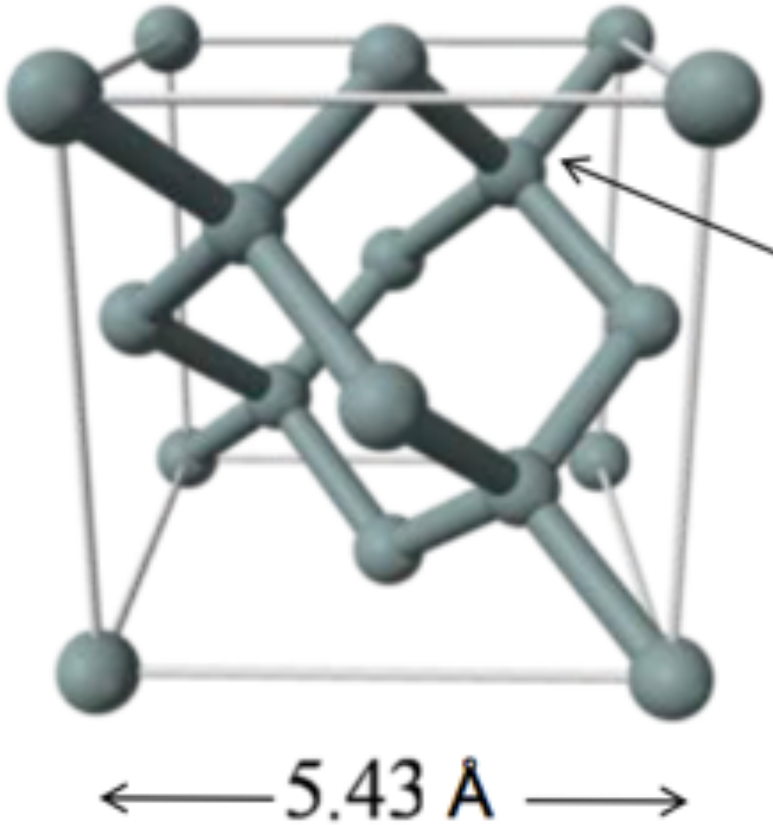
$$8\frac{1}{8} + 6\frac{1}{2} + 4 = 8$$

- چگالی اتمی:

$$N_{atom} = \frac{8}{(5.4307\times10^{-10})^3} m^{-3}$$
$$= 4.99\times10^{28} m^{-3}$$
$$= 4.99\times10^{22} cm^{-3}$$

ساختار سیلیکن





- ثابت شبکه: $a = 5.4307\text{Å}$
- قطر اصلی: $\sqrt{3}a$
- فاصله نزدیک ترین همسایه ها:

$$\frac{\sqrt{3}a}{4} = 2.35\text{Å}$$

- بزرگترین شعاع اتم:

$$\frac{\sqrt{3}a}{8} = 1.17\text{Å}$$

- چگالی **(تمرین)**: $\rho = 2.3296\ g/cm^3$

فاکتور پکیدگی اتمی (Atomic Packing Factor)

- ساختار SC

$$\mathrm{APF} = \frac{N_{\text{atoms}} V_{\text{atom}}}{V_{\text{unit cell}}} = \frac{1 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{(2r)^3}$$

$$= \frac{\pi}{6} \approx 0.5236$$

- ساختار BCC

$$\mathrm{APF} = \frac{N_{\text{atoms}} V_{\text{atom}}}{V_{\text{unit cell}}} = \frac{2 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{\left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3}$$

$$= \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \approx 0.680\,174\,762\,.$$

- ساختار FCC

$$\mathrm{APF} = \frac{N_{\text{atoms}} V_{\text{atom}}}{V_{\text{unit cell}}} = \frac{4 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{(2r\sqrt{2})^3}$$

$$= \frac{\pi\sqrt{2}}{6} \approx 0.740\,48048\,.$$

تمرین+ فاکتور پکیدگی اتمی ساختار الماس

نمایش سه بعدی

- ساختار SC

https://www.geogebra.org/m/rxvmc3uj

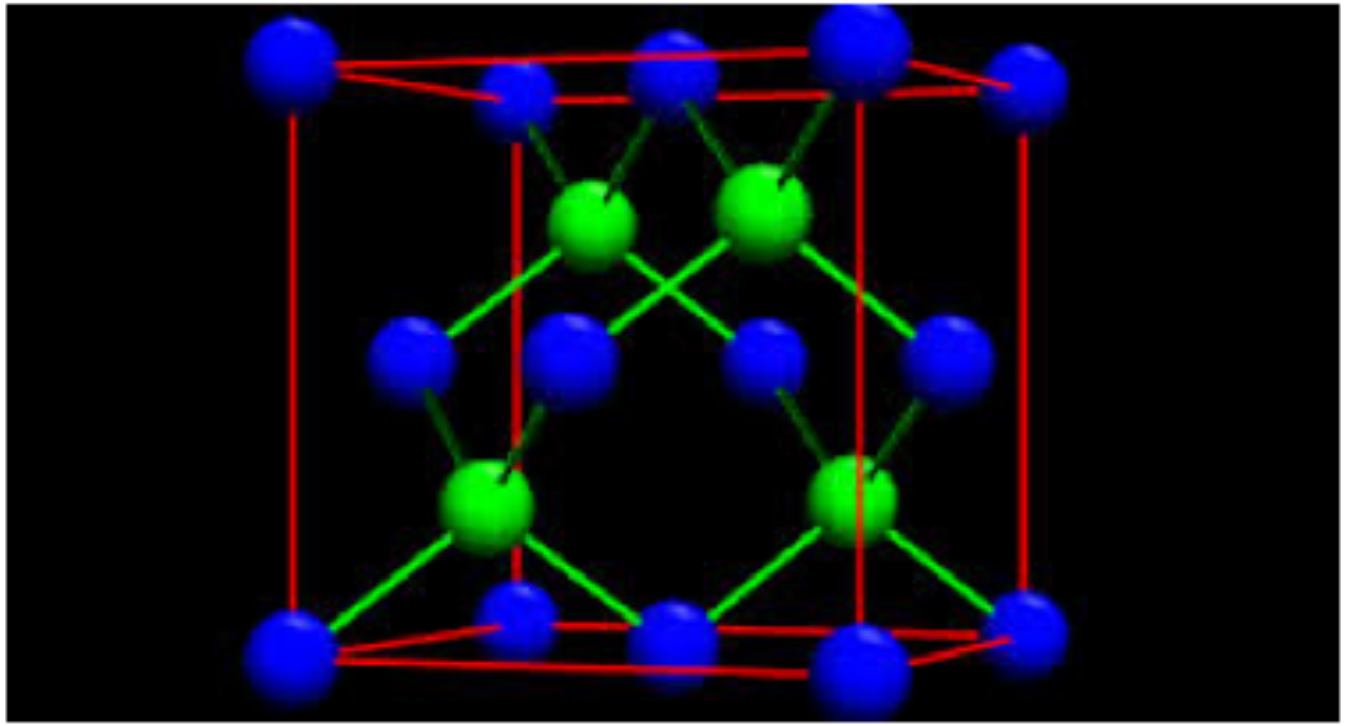
- ساختار BCC

https://www.geogebra.org/m/zantmgct

- ساختار FCC

https://www.geogebra.org/m/jcba9wnb

صفحات و جهات کریستالی



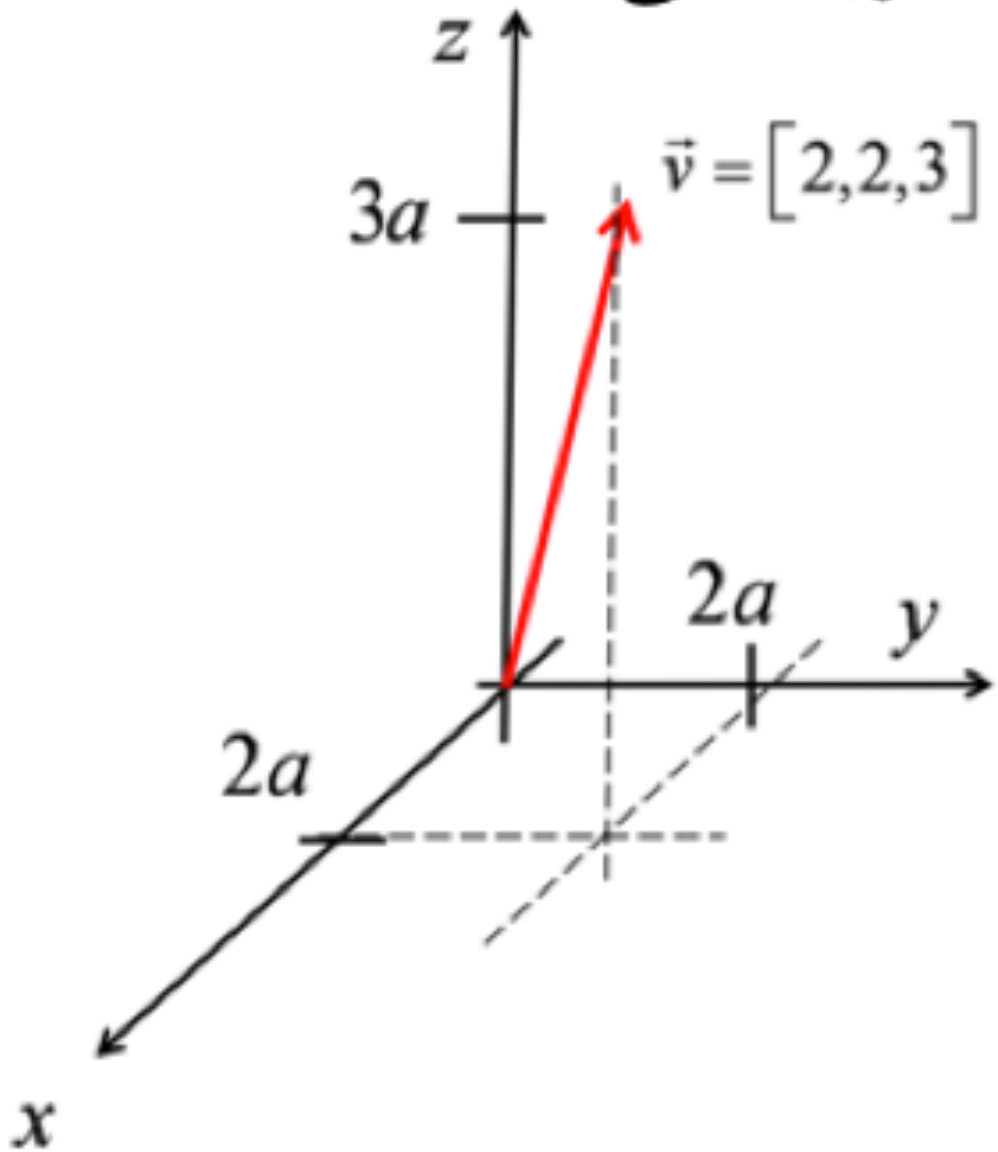
- چه نیازی است؟

تفاوت خصوصیات مواد در جهت ها و صفحات مختلف کریستالی

- نحوه مشخص کردن؟

اندیس های میلر برای کریستال های مکعبی

اندیس های میلر برای جهت های کریستالی



- گام اول: معادله بردار:

$\vec{R} = 2a\hat{x} + 2a\hat{y} + 3a\hat{z}$

- گام دوم: مؤلفه های بردار:

$2a, 2a, 3a$

- گام سوم: حذف ثابت شبکه:

2,2,3

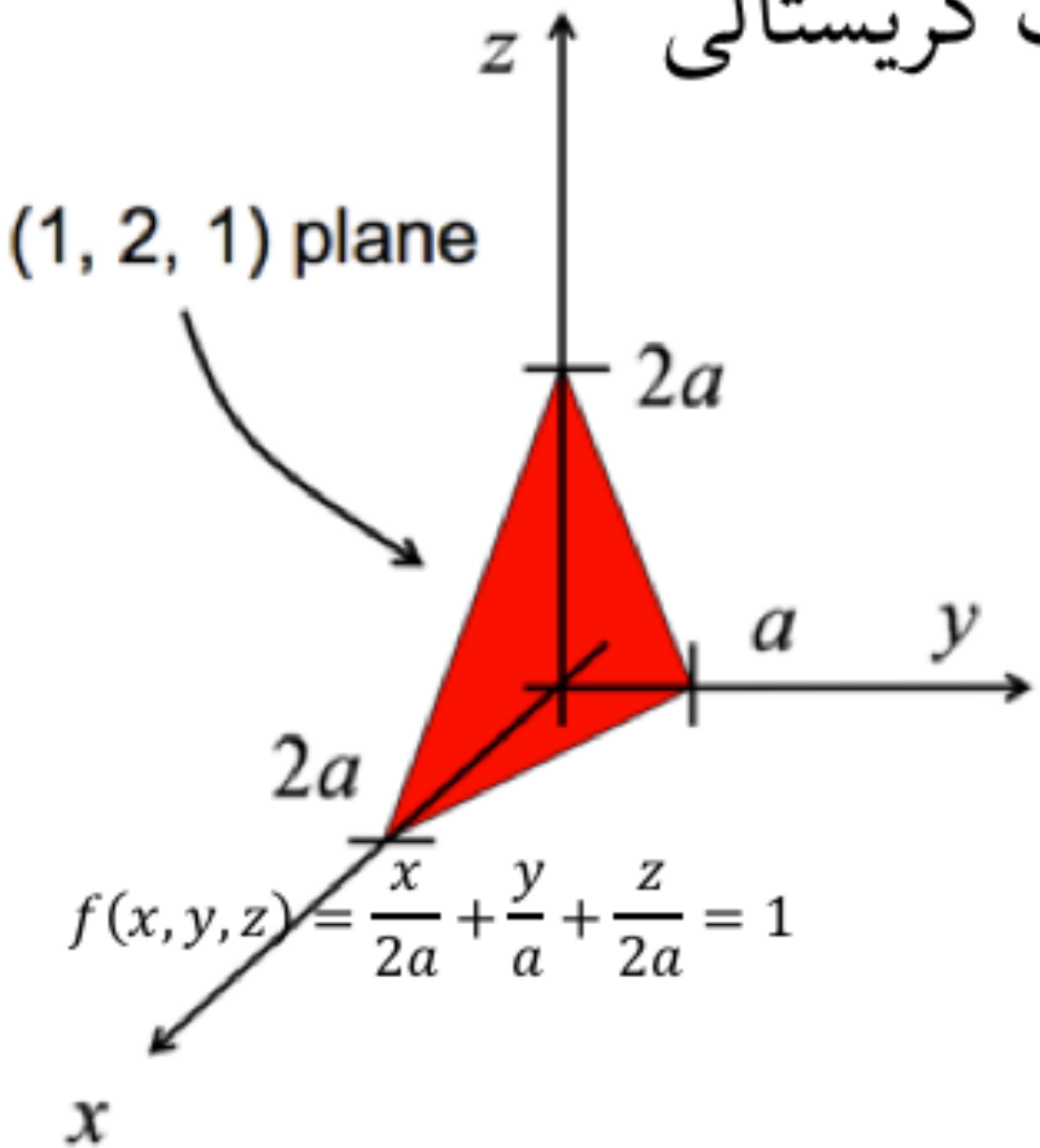
- اندیس میلر:

[2,2,3]

- جهت های معادل:

< 2,2,3 >

اندیس های میلر برای صفحات کریستالی



- گام اول: یافتن محل تقاطع محور ها

$2a, a, 2a \Rightarrow 2,1,2$

- گام دوم: معکوس کردن

$\frac{1}{2}, \frac{1}{1}, \frac{1}{2}$

- گام سوم: ضرب کردن در ک‌مم

$1,2,1$

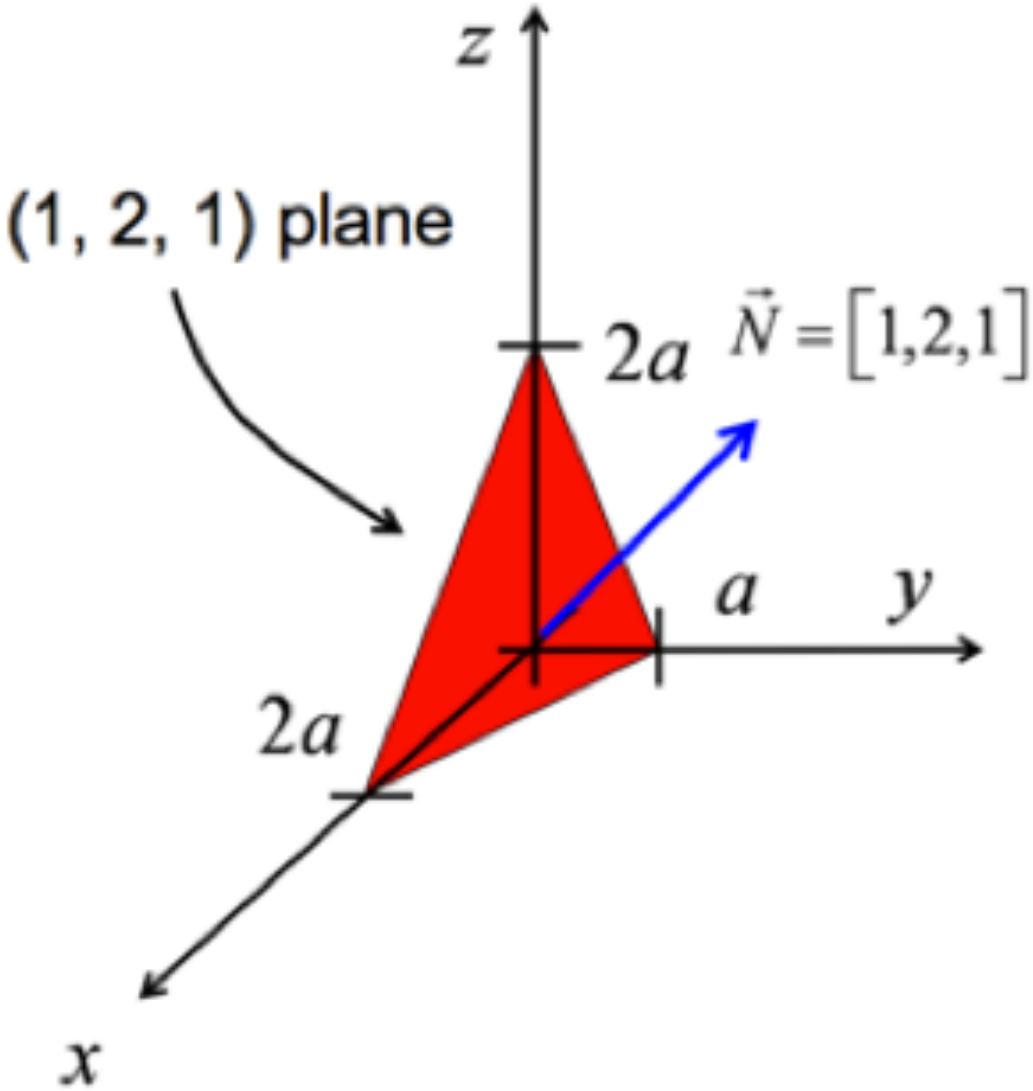
- اندیس میلر:

$(1,2,1)$

- صفحات معادل:

$\{1,2,1\}$

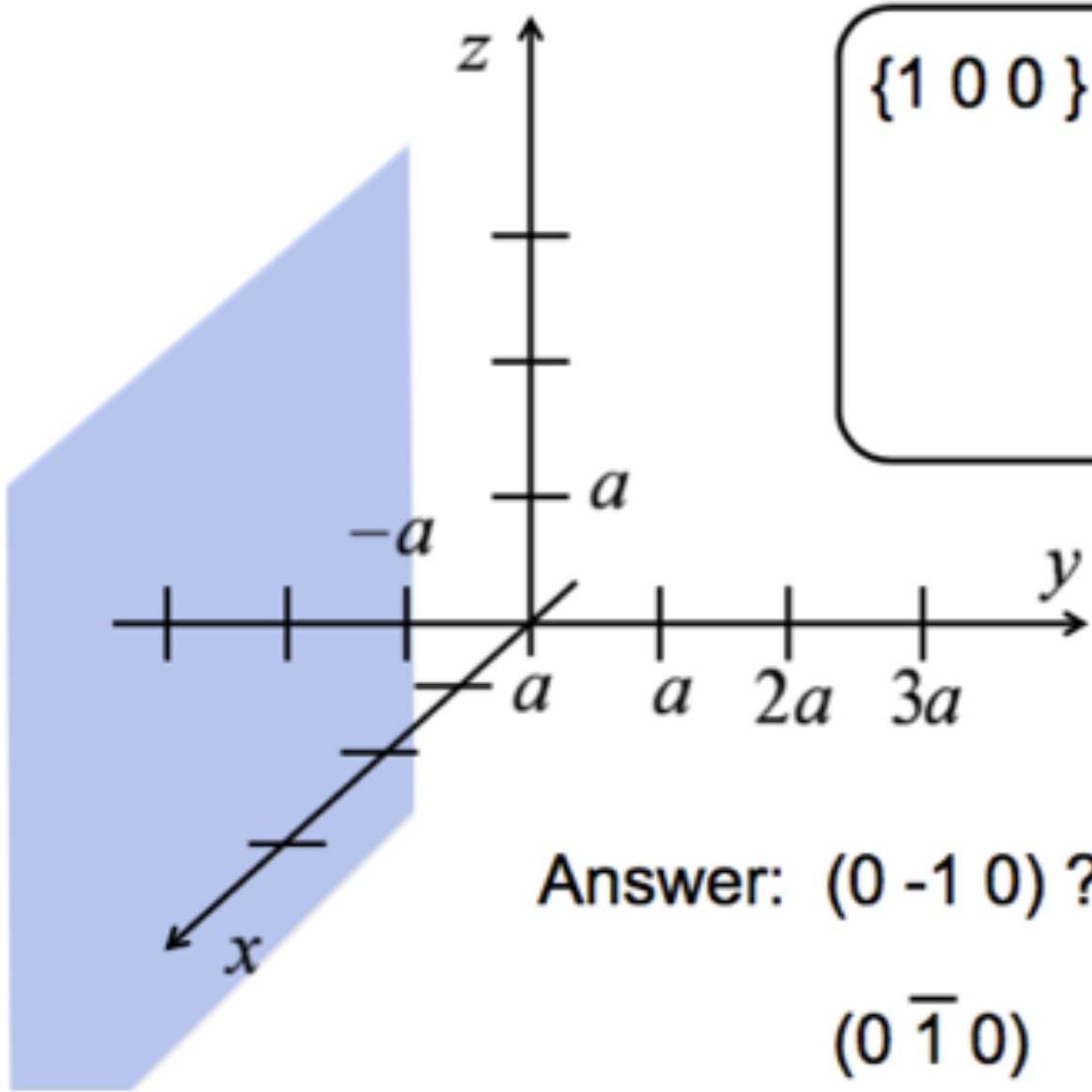
جهت عمود بر صفحه کریستالی



- جهت [1,2,1] عمود بر صفحه (1,2,1) است.
- جهت [h,k,l] عمود بر صفحه (h,k,l) است.

- چرا؟
گرادیان تابع یک صفحه، عمود بر آن صفحه است.

صفحات کریستالی معادل



{1 0 0 } set of equivalent planes

(100) (010) (001)

$(\bar{1}00)$ $(0\bar{1}0)$ $(00\bar{1})$

Answer: (0 -1 0) ?

$(0\ \bar{1}\ 0)$