

معایب بلوری در جامدات

Imperfections in Solids

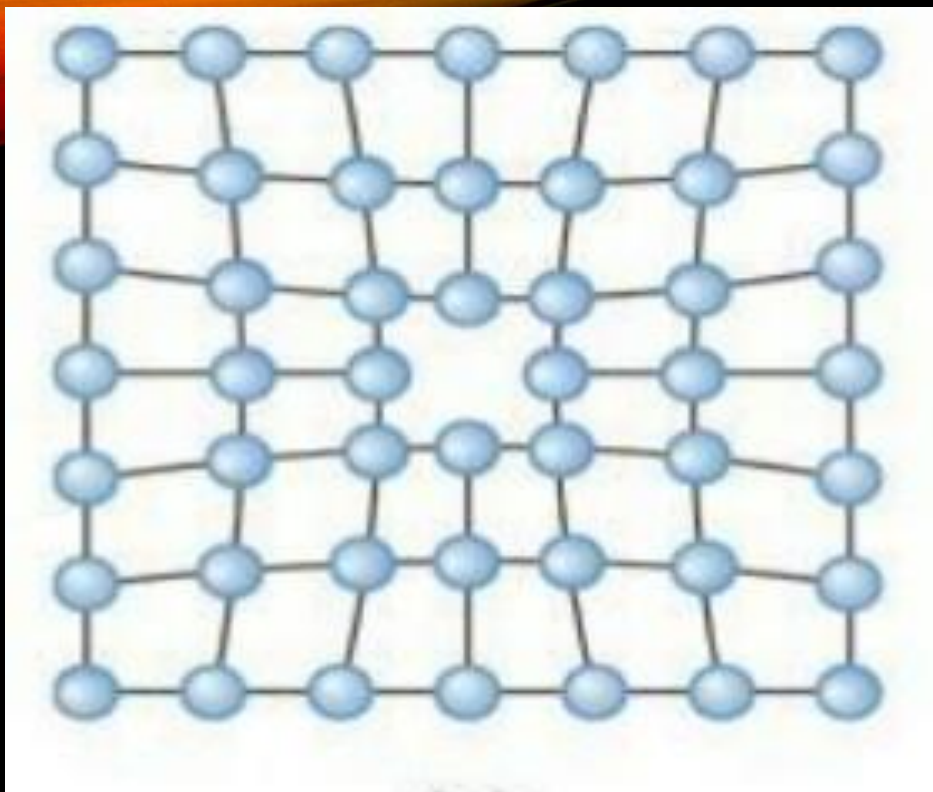
دانشجویان گرامی خواهشمند است برای مطالعه بیشتر به مرجع مربوطه
(فصل چهارم – کتاب مهندسی و علم مواد William D. Callister) مراجعه
نمایید.

معایب بلوری



عیب جای خالی

3



علل ایجاد

- انجماد
- افزایش دما
- تغییر شکل پلاستیک
- بمباران با ذرات پرانرژی

باعث سهولت در پدیده نفوذ و قرار گیری سایر اتم ها و آلیاژ سازی

افزایش دما ← افزایش جای خالی

تعداد جای خالی

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

انرژی مورد نیاز برای تشکیل جای خالی

دما بر حسب کلوین

تعداد کل مکان های اتمی

ثابت بولتزمن

$$1.38 \times 10^{-23} \text{ J/atom}\cdot\text{K}, \text{ or } 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom}\cdot\text{K}$$

Calculate the equilibrium number of vacancies per cubic meter for copper at 1000°C. The energy for vacancy formation is 0.9 eV/atom; the atomic weight and density (at 1000°C) for copper are 63.5 g/mol and 8.4 g/cm³, respectively.

5

$$N = \frac{N_A \rho}{A_{\text{Cu}}}$$

$$= \frac{(6.022 \times 10^{23} \text{ atoms/mol})(8.4 \text{ g/cm}^3)(10^6 \text{ cm}^3/\text{m}^3)}{63.5 \text{ g/mol}}$$

$$= 8.0 \times 10^{28} \text{ atoms/m}^3$$

چگالی عدد آووگادرو وزن اتمی

محاسبه تعداد اتم های مس در یک متر مکعب

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

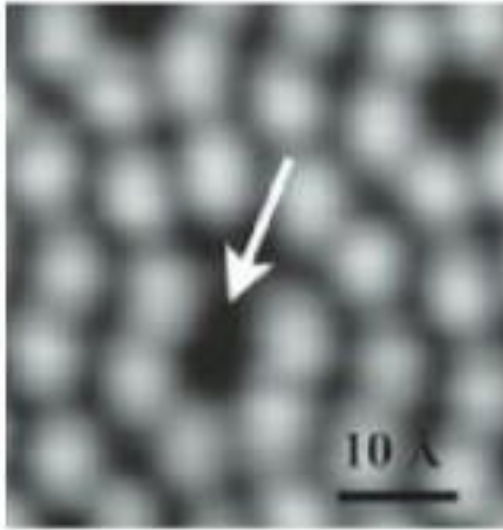
$$= (8.0 \times 10^{28} \text{ atoms/m}^3) \exp\left[-\frac{(0.9 \text{ eV})}{(8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K})(1273 \text{ K})}\right]$$

$$= 2.2 \times 10^{25} \text{ vacancies/m}^3$$

محاسبه تعداد جای خالی در یک متر مکعب

1000+273

عیب جای خالی در سیلیکون با بزرگنمایی هفت
میلیون برابر با استفاده از میکروسکوپ پروبی (AFM)

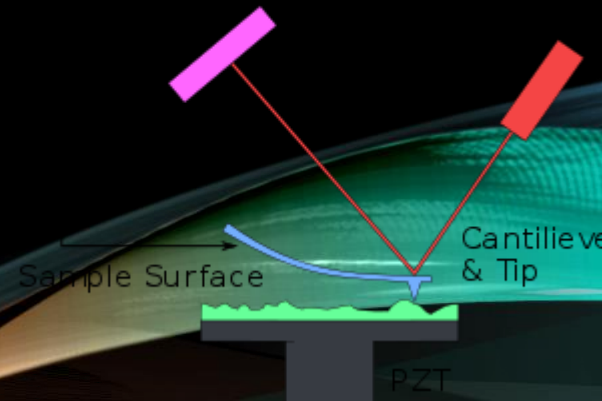


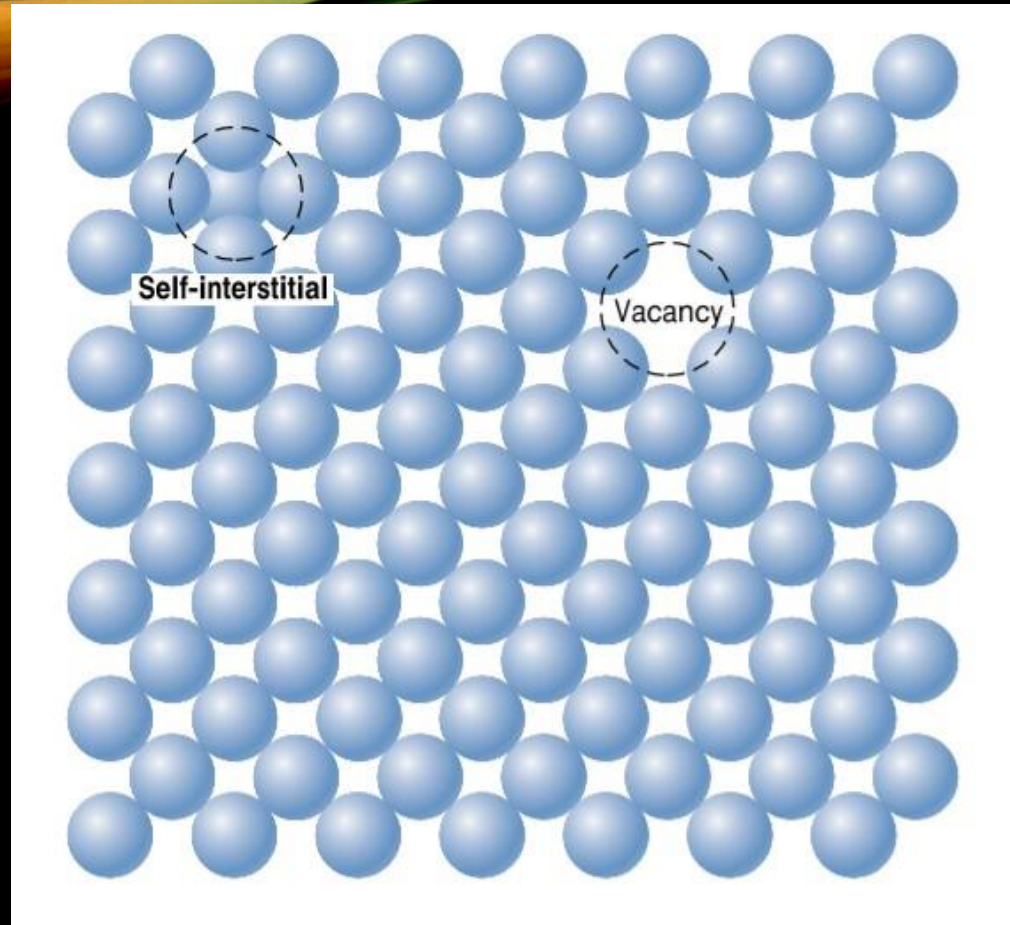
Scanning probe
micrograph that
shows a vacancy on
a (111)-type surface
plane for silicon.
Approximately
7,000,000 $\times$.
(Micrograph courtesy
of D. Huang, Stanford
University.)

Detector and
Feedback
Electronics



6



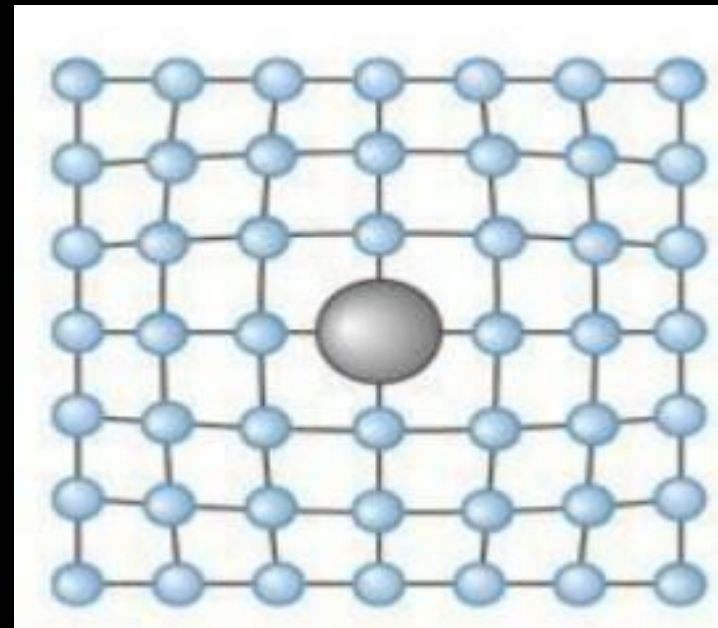
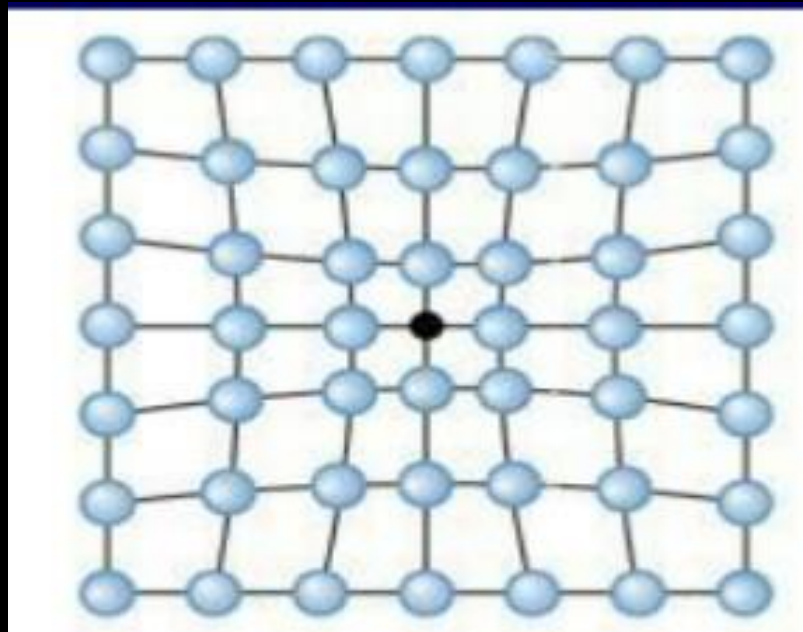


7

ایجاد همزمان عیب جای خالی (Vacancy) و عیب خود بین نشینی (self-interstitial)

عیوب جانشینی

مانند محلول جامد مس در نیکل



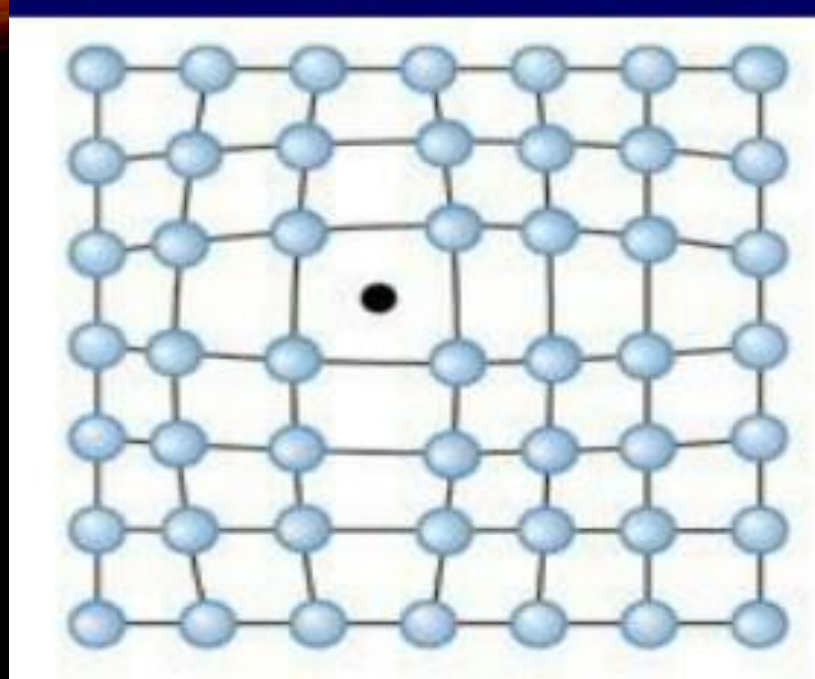
8

تنش فشاری

تنش کششی

عیوب بین نشینی

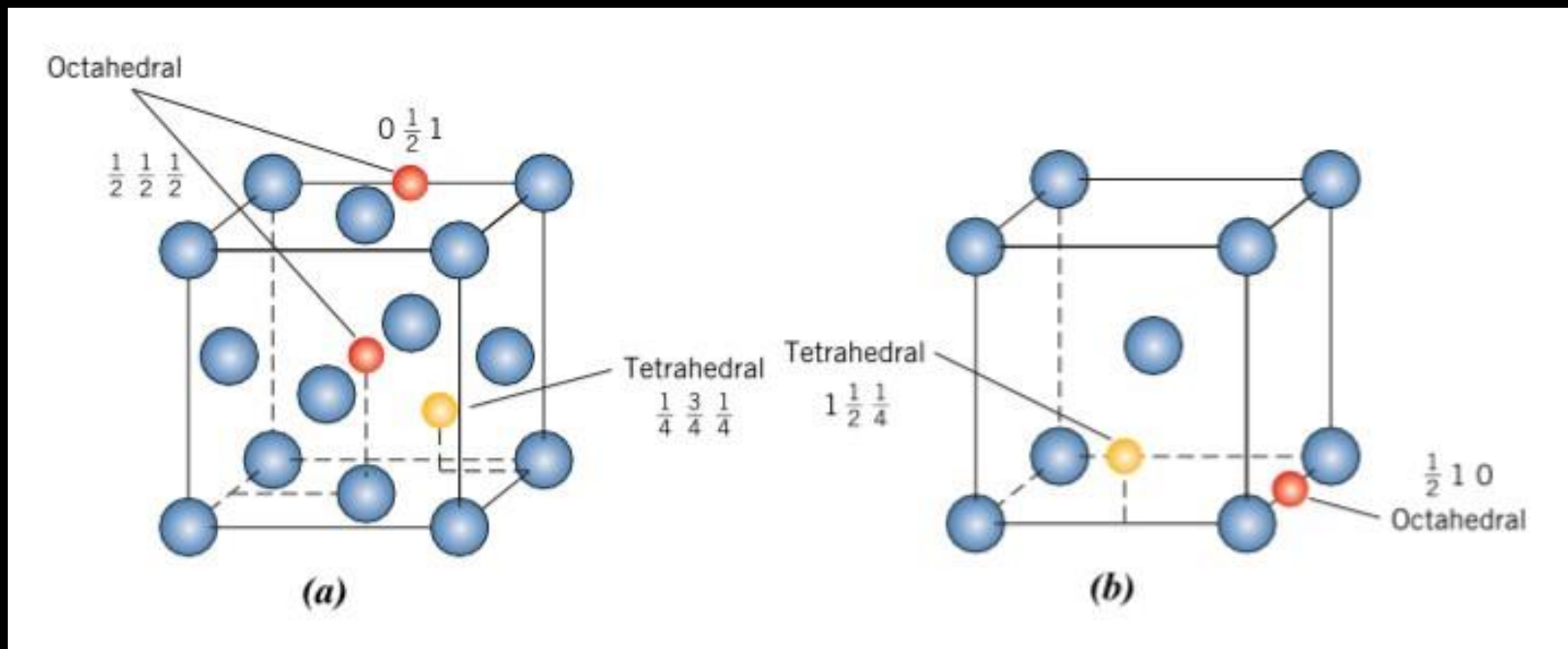
9



اتم های اضافی در فضای خای بین اتم های شبکه قرار می گیرند.

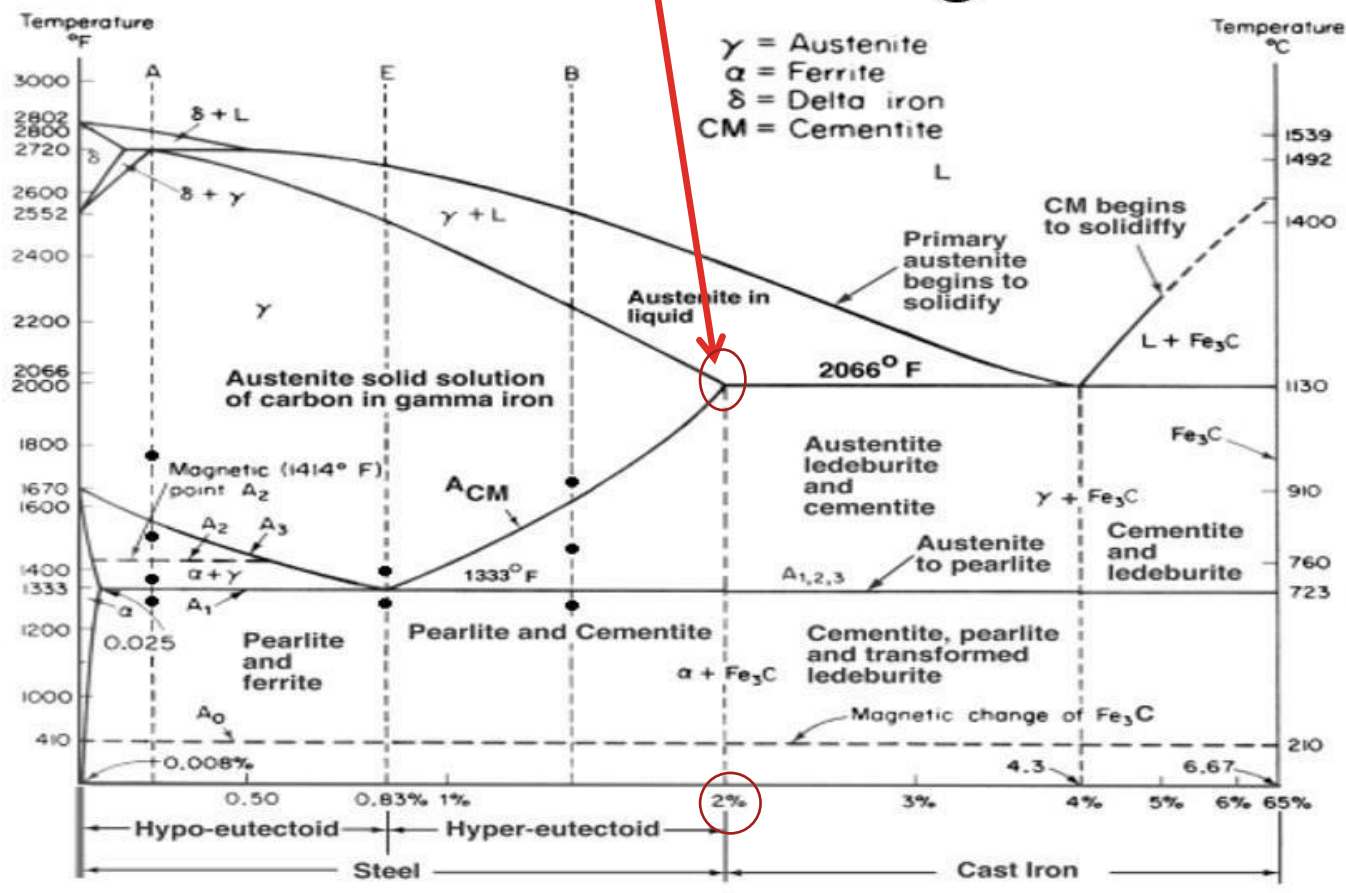
اتم های اضافی کوچکتر از اتم های شبکه کریستالی می باشند.

فضاهای خالی اکتاهدرال و تتراهدرال ، فضاهای بین نشینی ساختارهای کریستالی FCC و BCC می باشد.

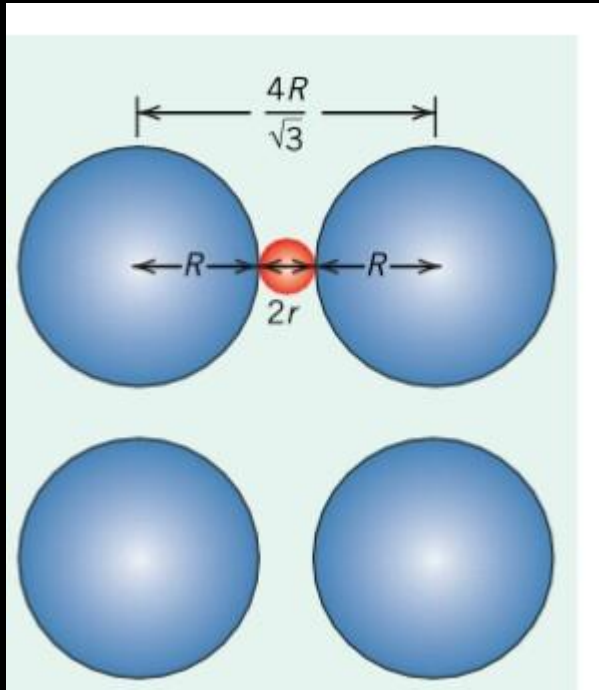


موقعیت های اتم های بین نشین در فضاهای خالی اکتاهدرال و تتراهدرال در شبکه های کریستالی
FCC و BCC

Iron-Carbon Phase Diagram



Compute the radius r of an impurity atom that just fits into a BCC octahedral site in terms of the atomic radius R of the host atom (without introducing lattice strains).

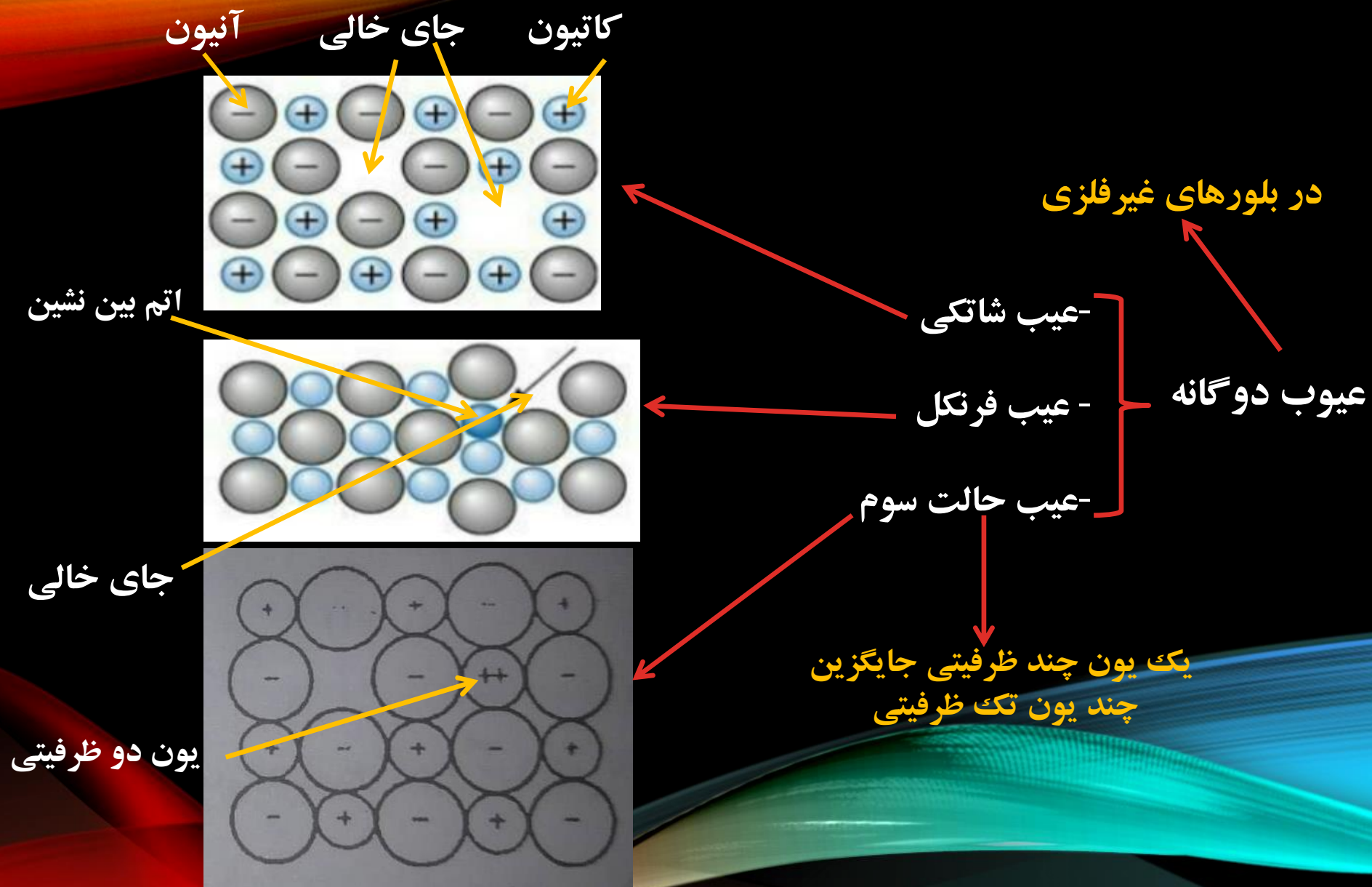


$$2R + 2r = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

$$2r = \frac{4R}{\sqrt{3}} - 2R = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) (2R)$$

$$r = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) R = 0.155R$$

12



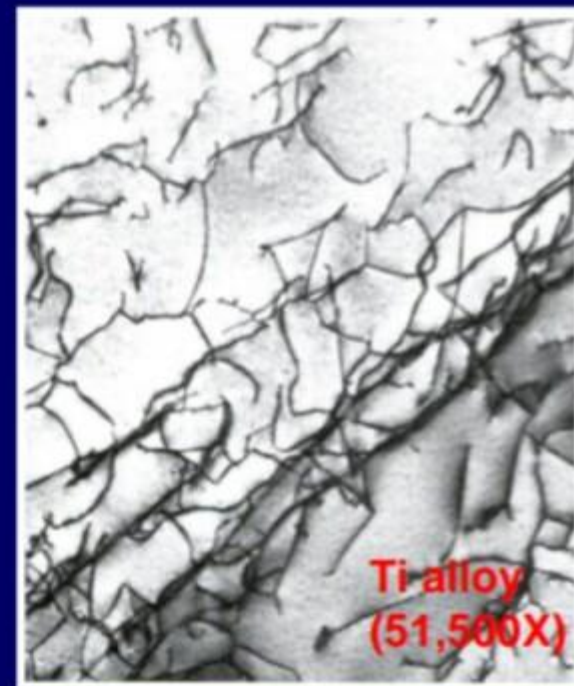
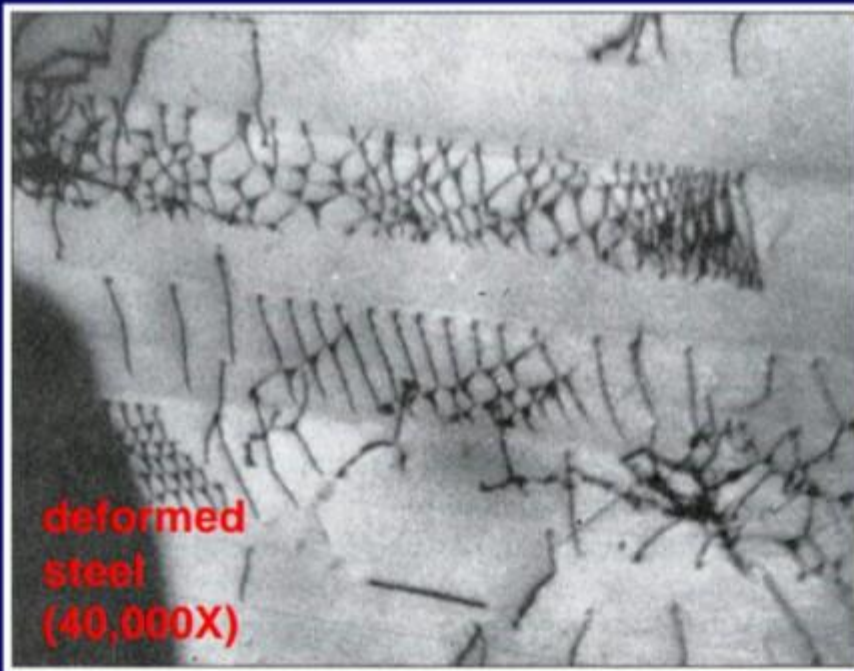
-ناجایی لبه ای

-ناجایی پیچی

-ناجایی مختلط

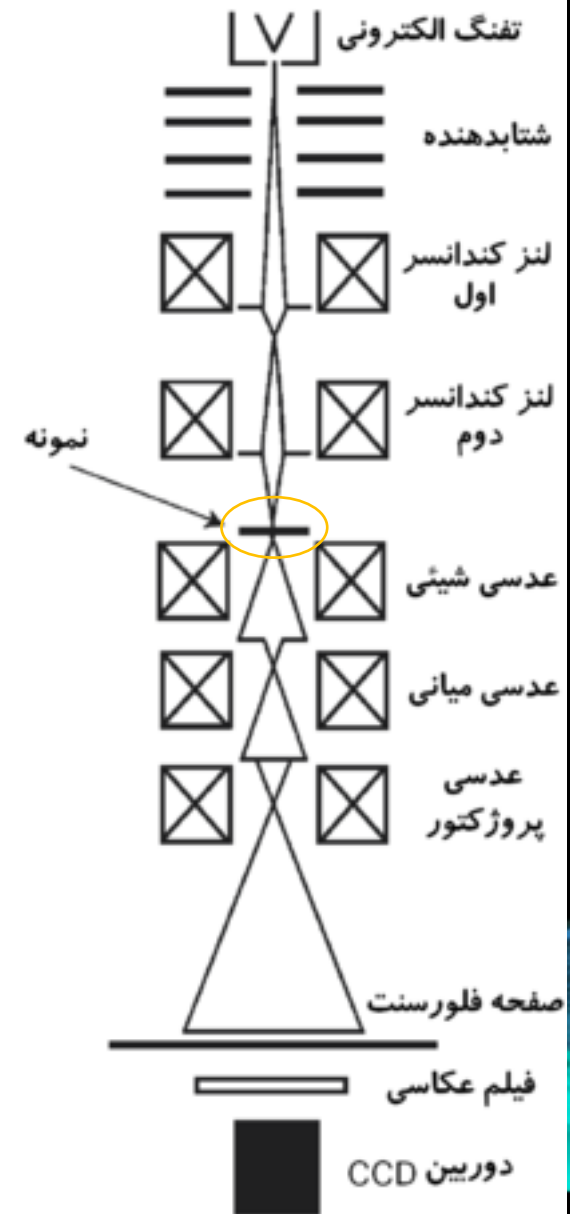
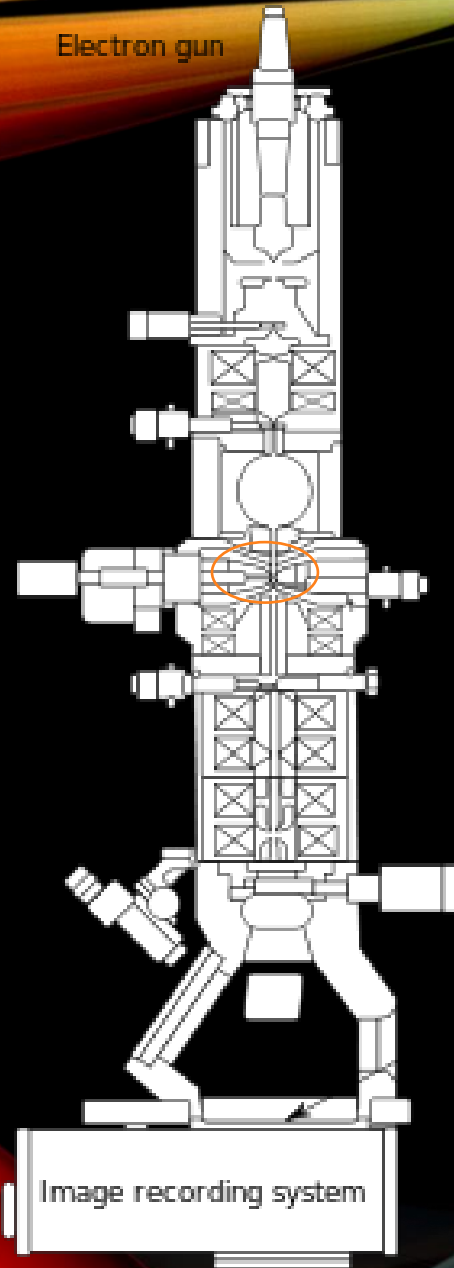
عیوب خطی (ناجایی) (dislocation)

14



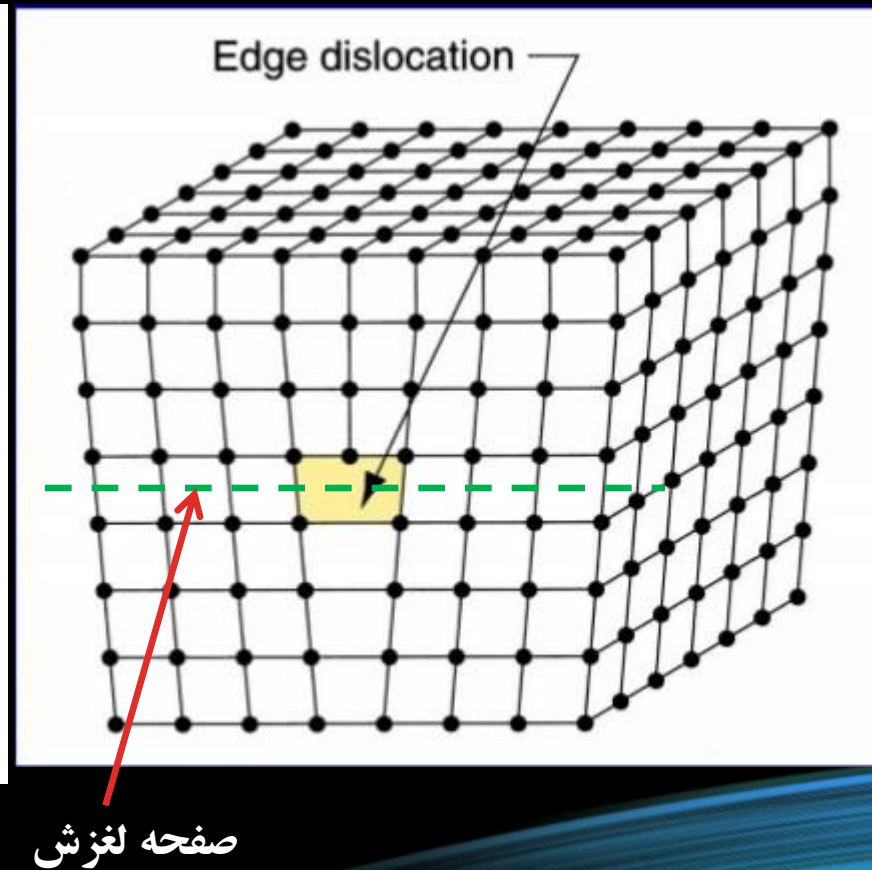
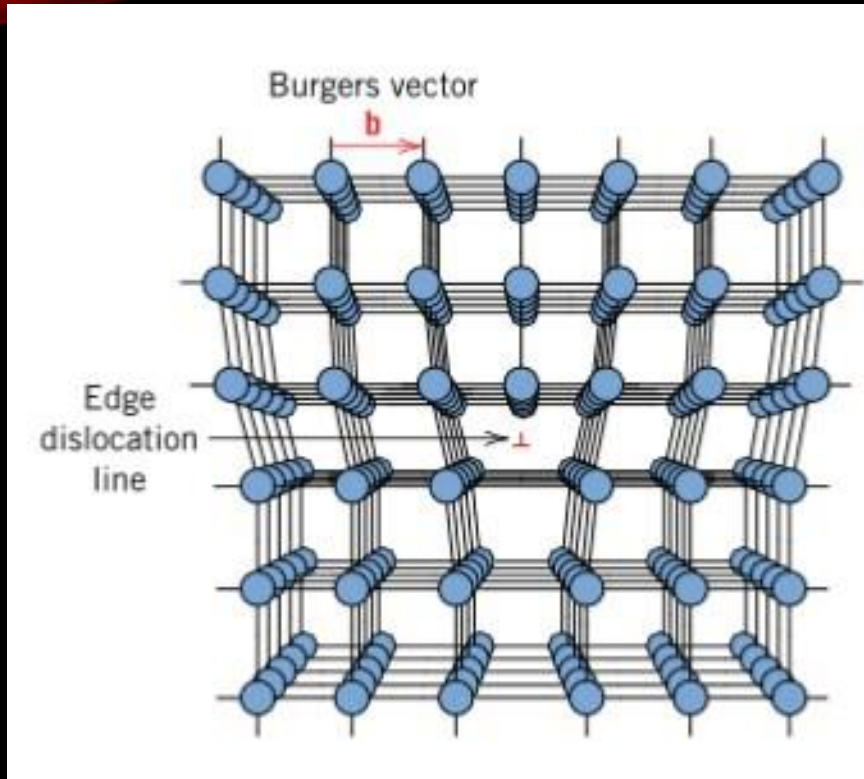
ناجایی ها در فولاد و تیتانیم (تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM))

Electron gun



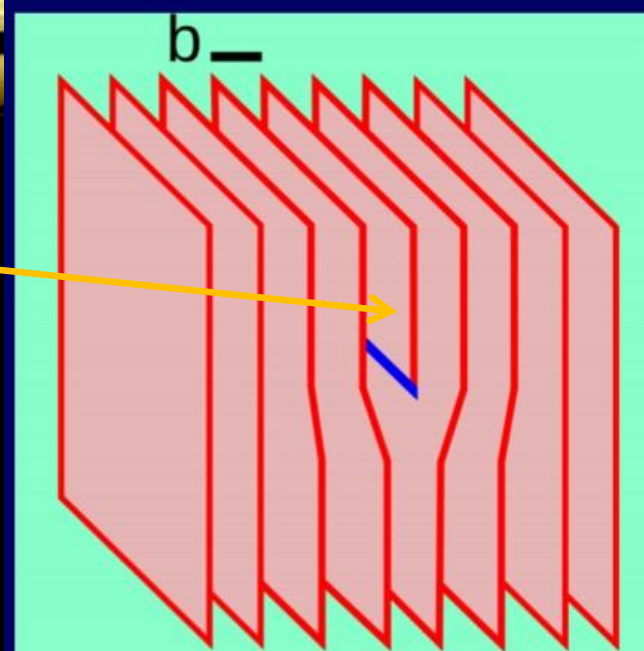
15

نابجایی لبه ای ← نیم صفحه اضافی



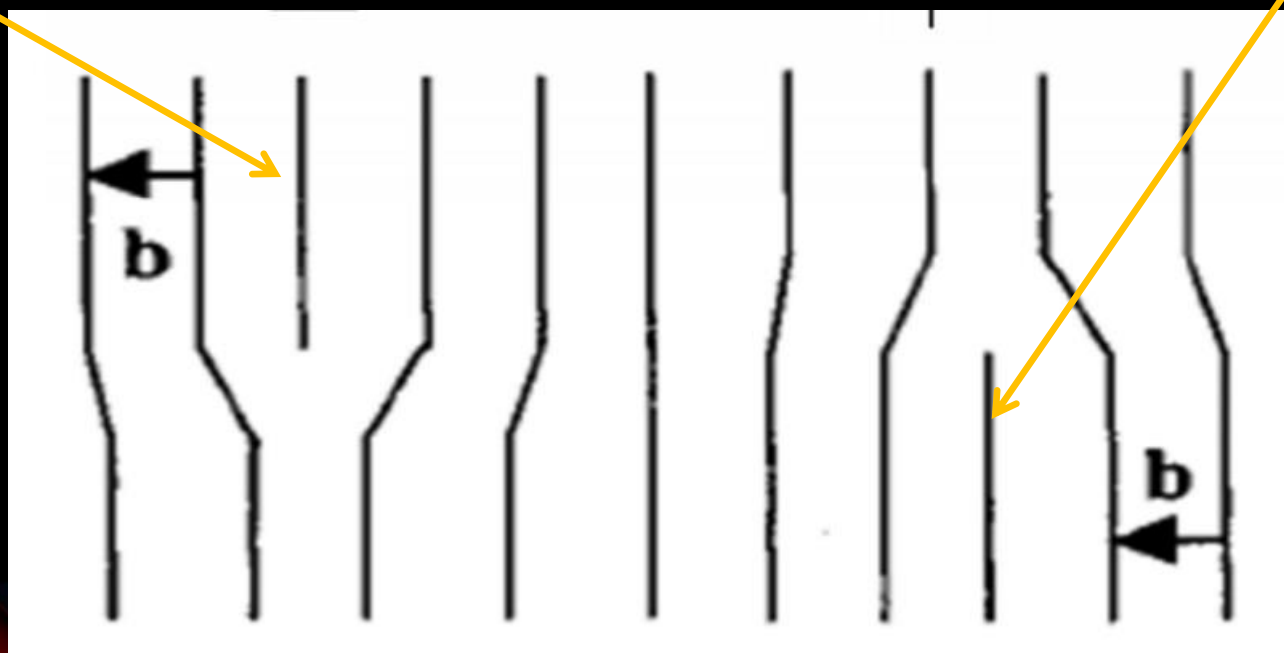
16

نیم صفحه اضافی

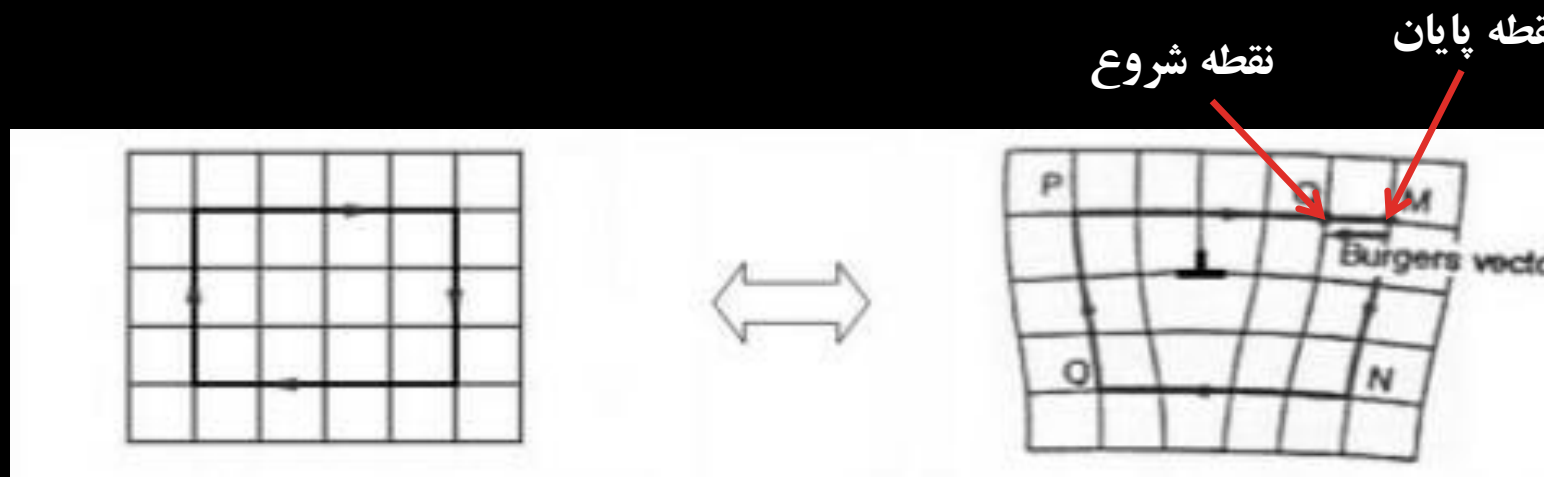


نابجایی لبه ای مثبت
بالای صفحه لغزش

نابجایی لبه ای منفی
پایین صفحه لغزش



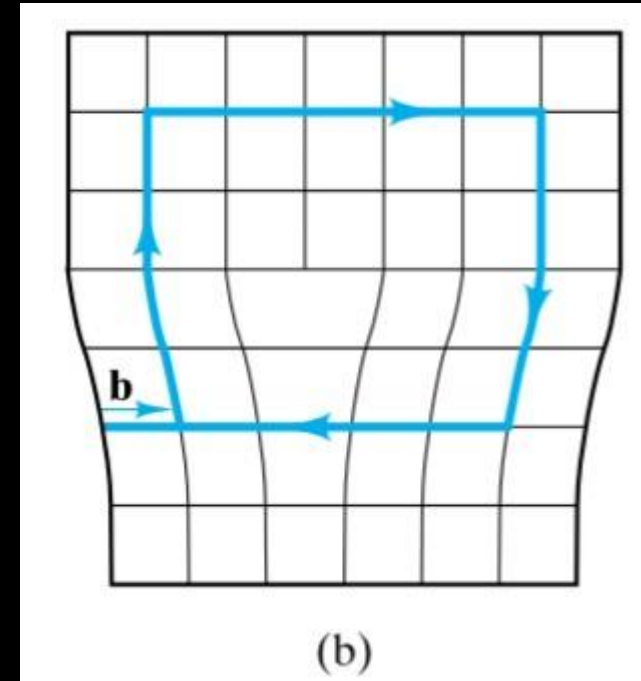
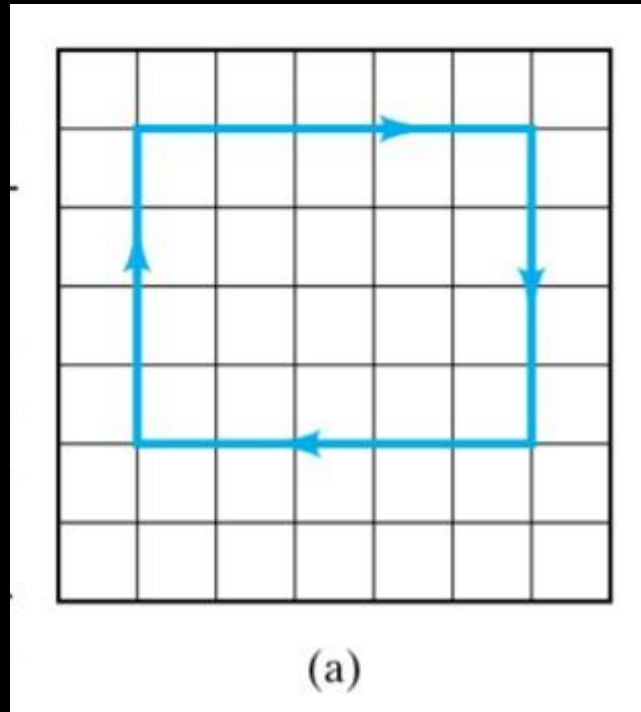
بردار برگرز (b): نشان دهنده جهت و میزان اعوجاج ناشی از وجود نابجایی در یک شبکه بلوری



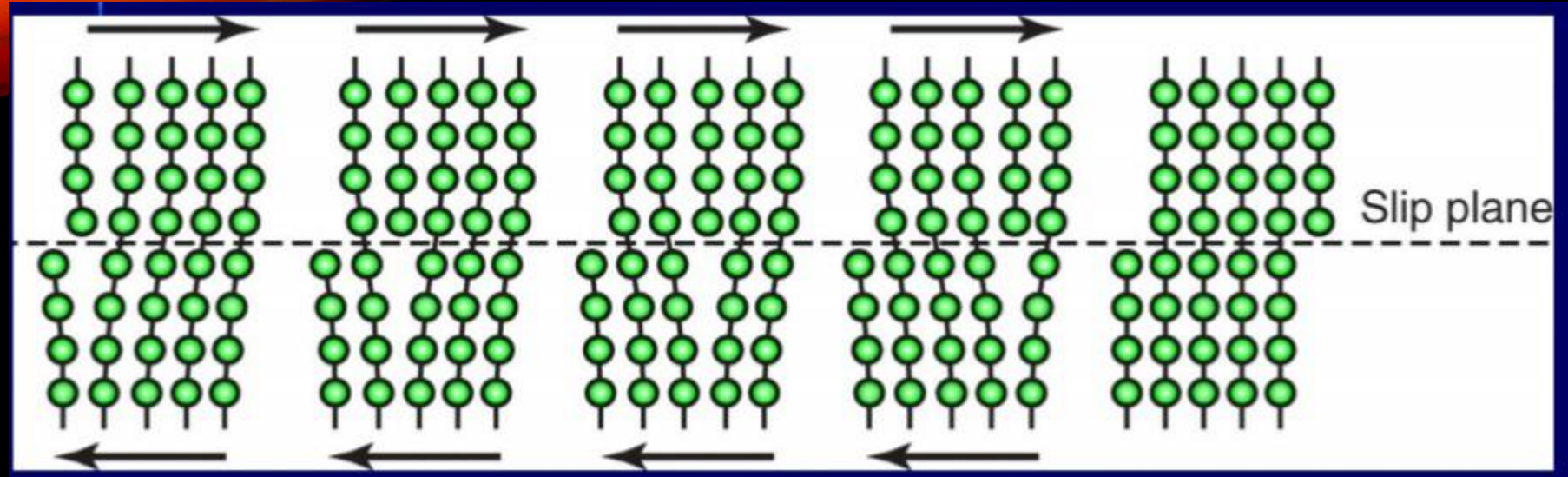
18

بردار برگرز: برداری که نقطه پایان را به نقطه شروع متصل می سازد که طول آن مضرب صحیحی از فاصله بین اتمی می باشد.

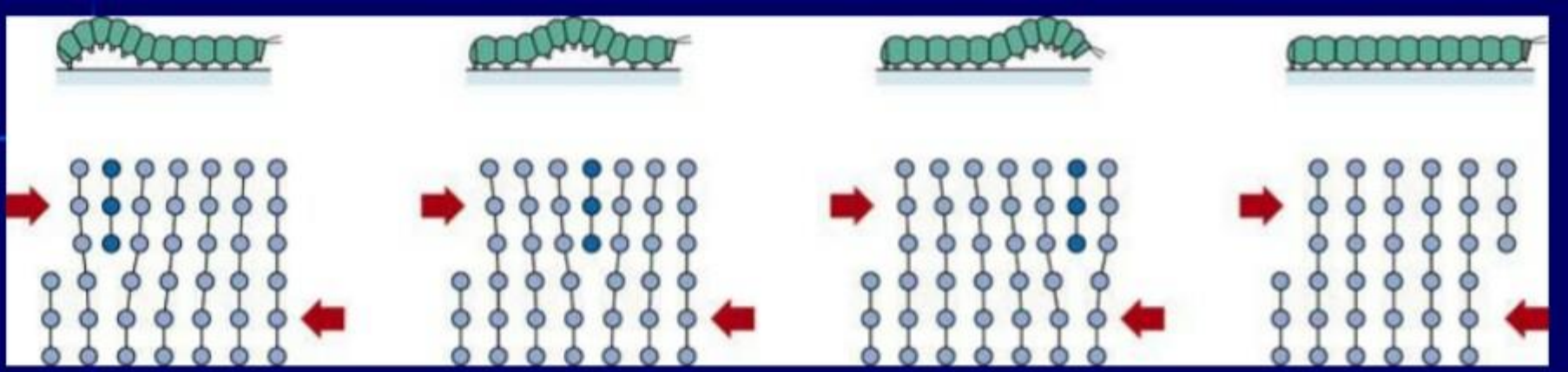
در نابجایی لبه ای، جهت بردار برگرز عمود بر خط نابجایی می باشد.



حرکت نابجایی ← عامل مهم در تغییر شکل پلاستیک در اثر اعمال نیرو

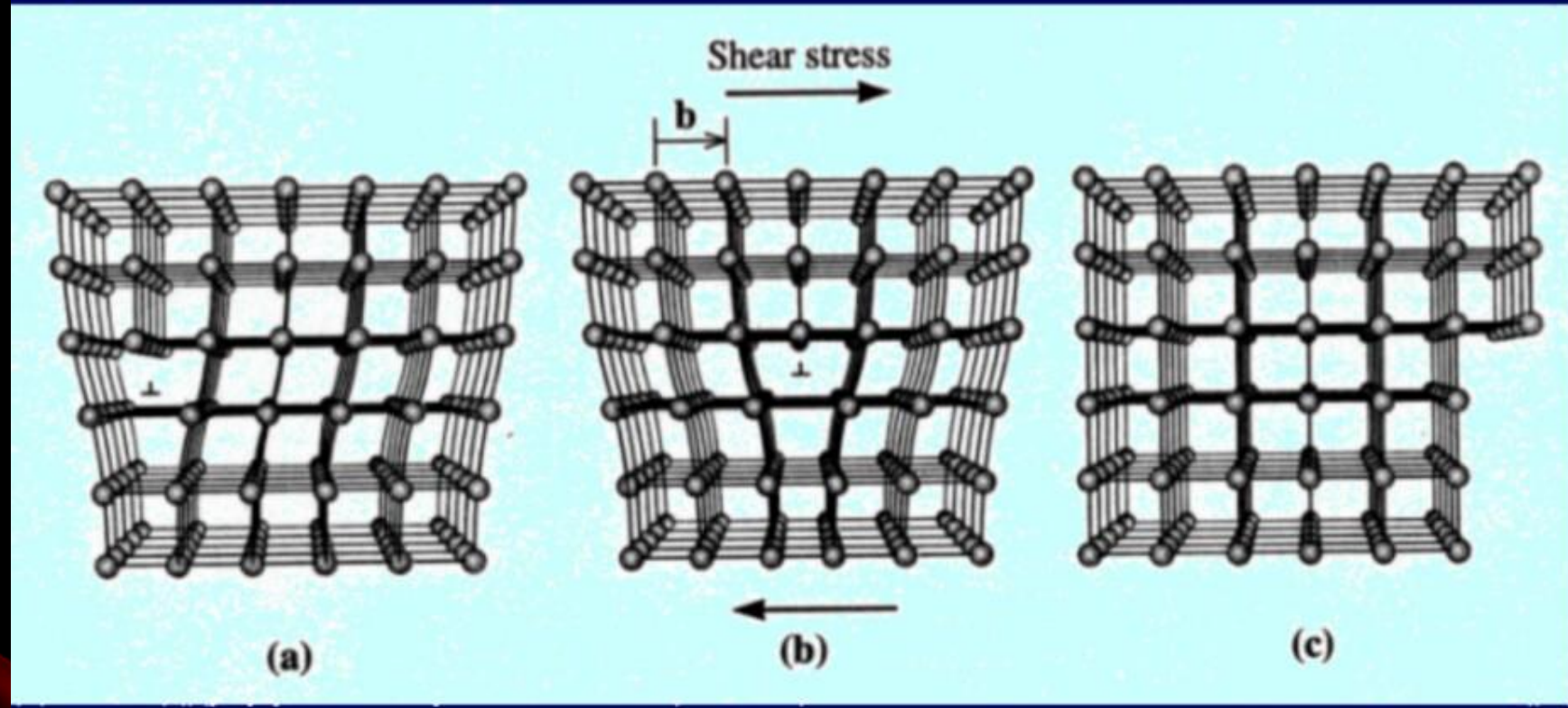


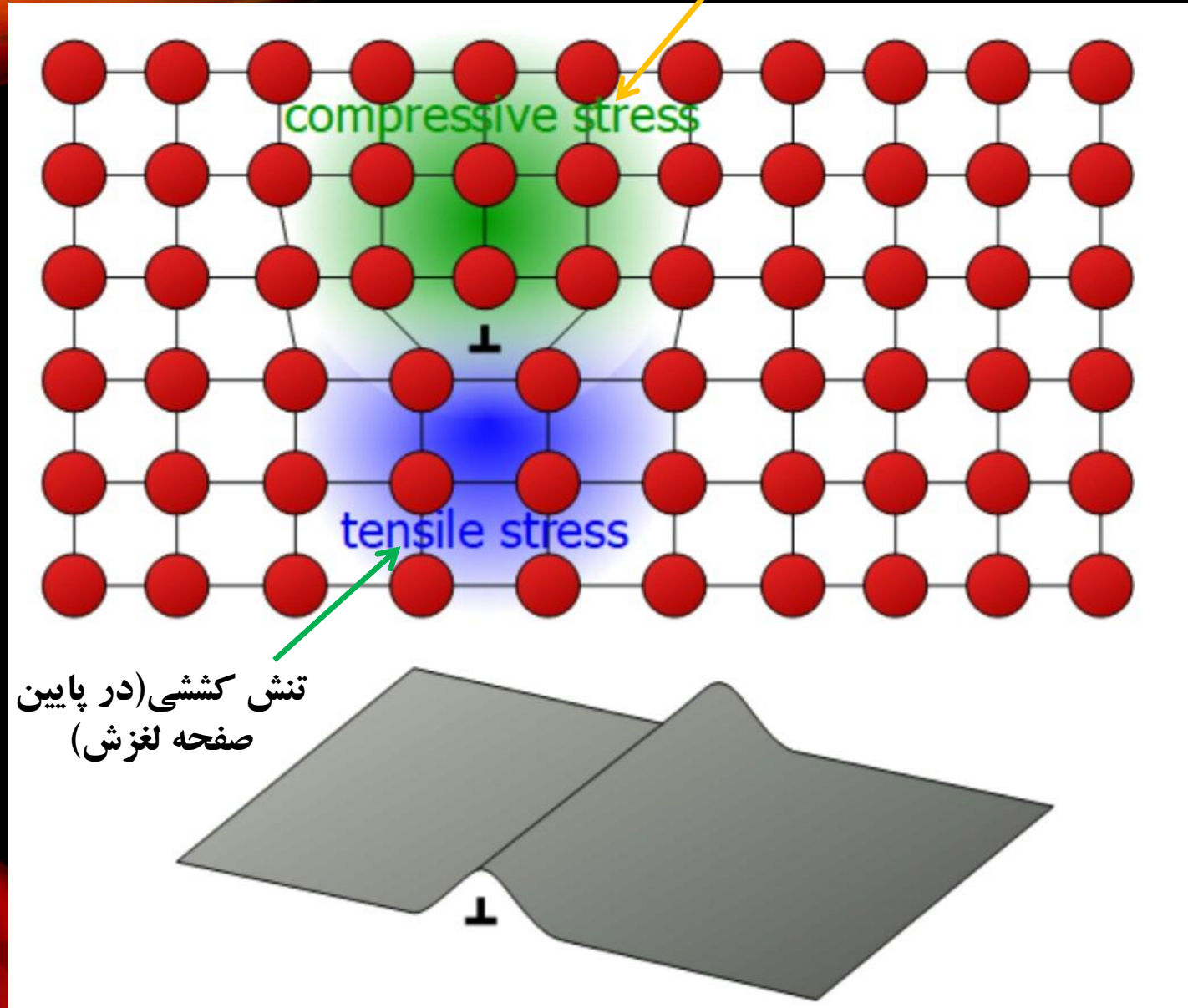
20



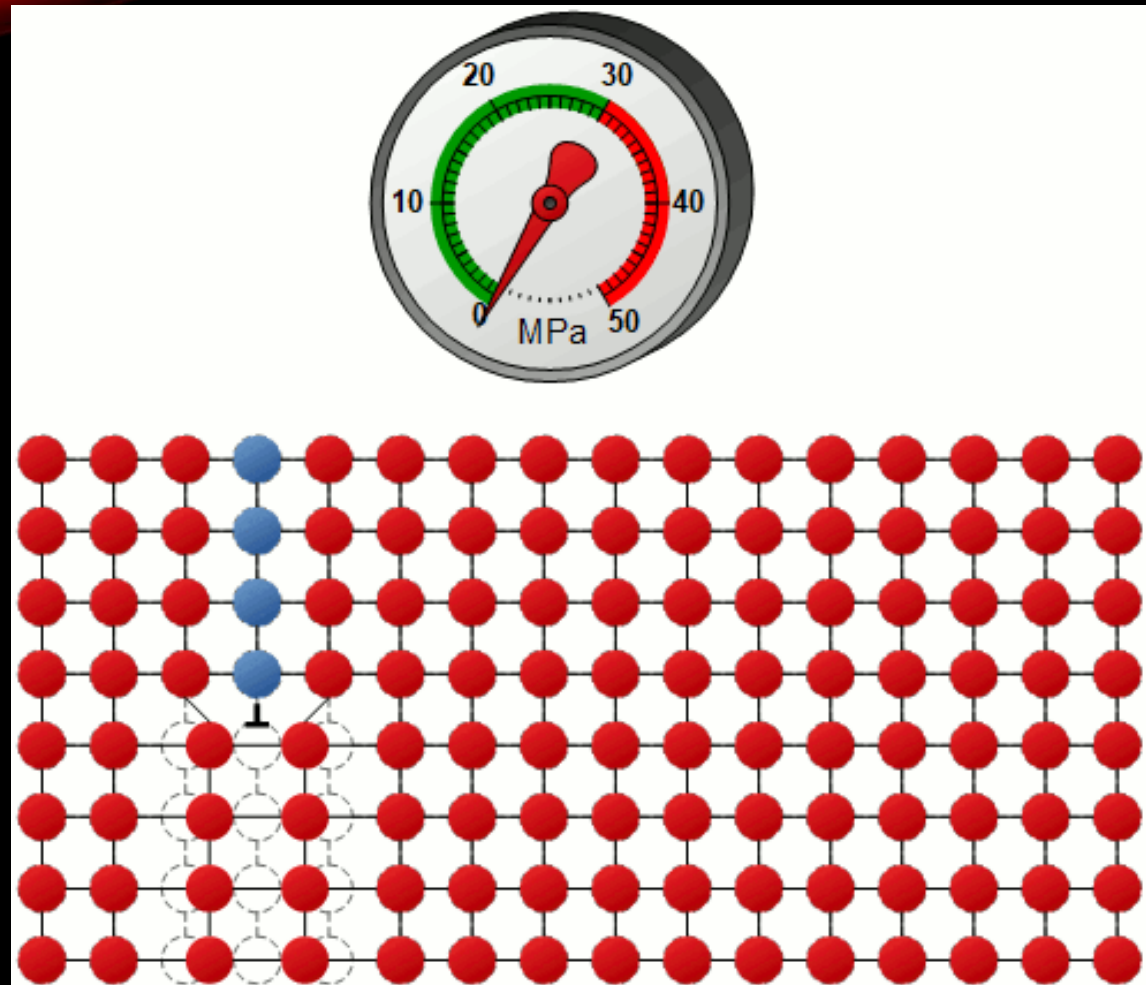
- Break one bond at a time, much easier than breaking all the bonds along the slip plane simultaneously, and thus lower yield stress.

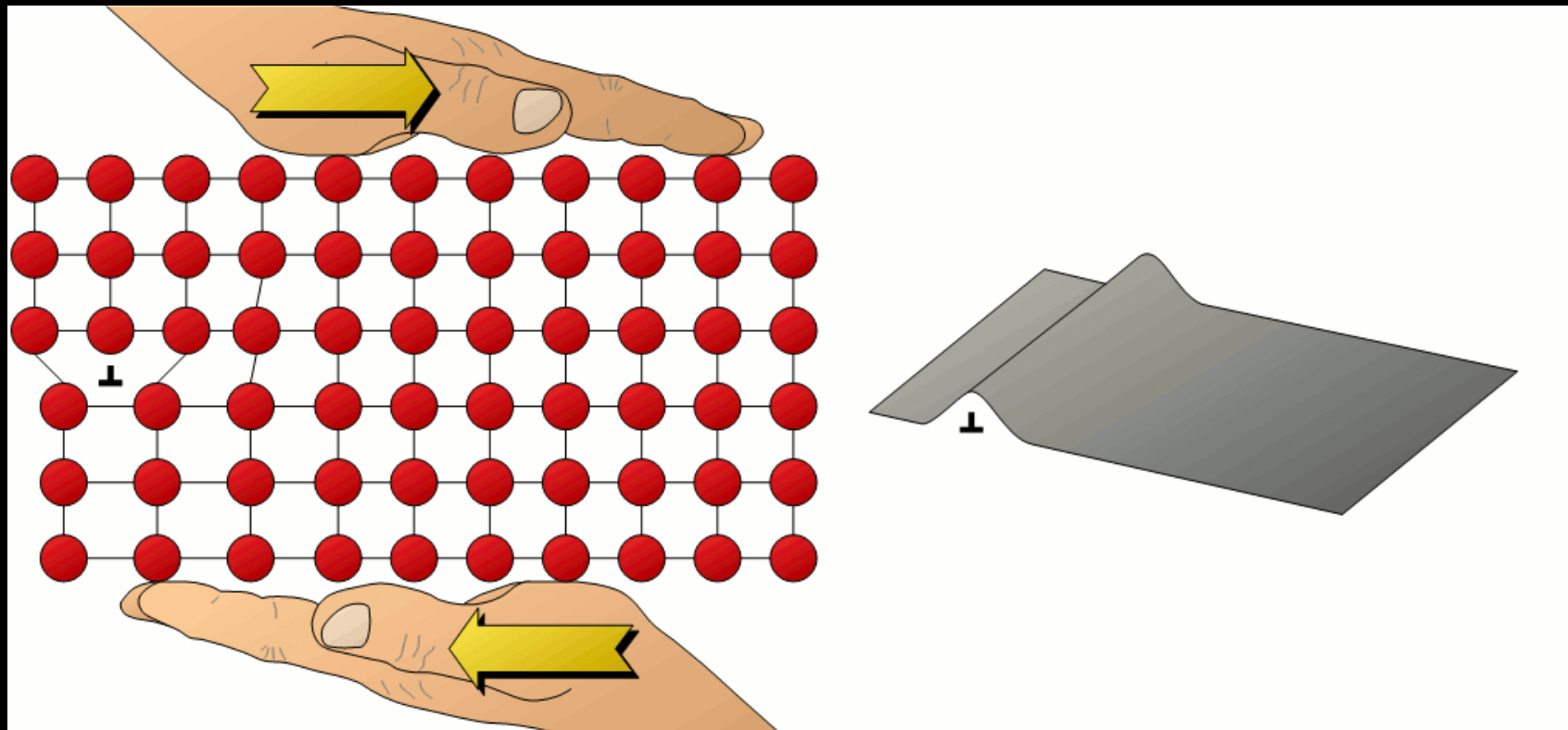
21





تنش کششی (در پایین
صفحه لغزش)

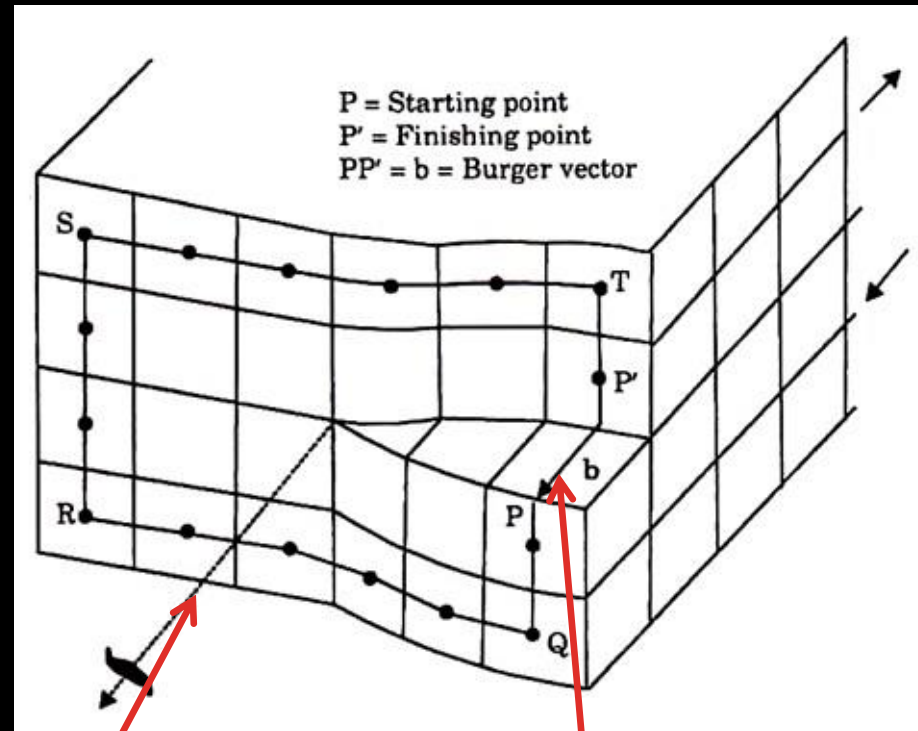
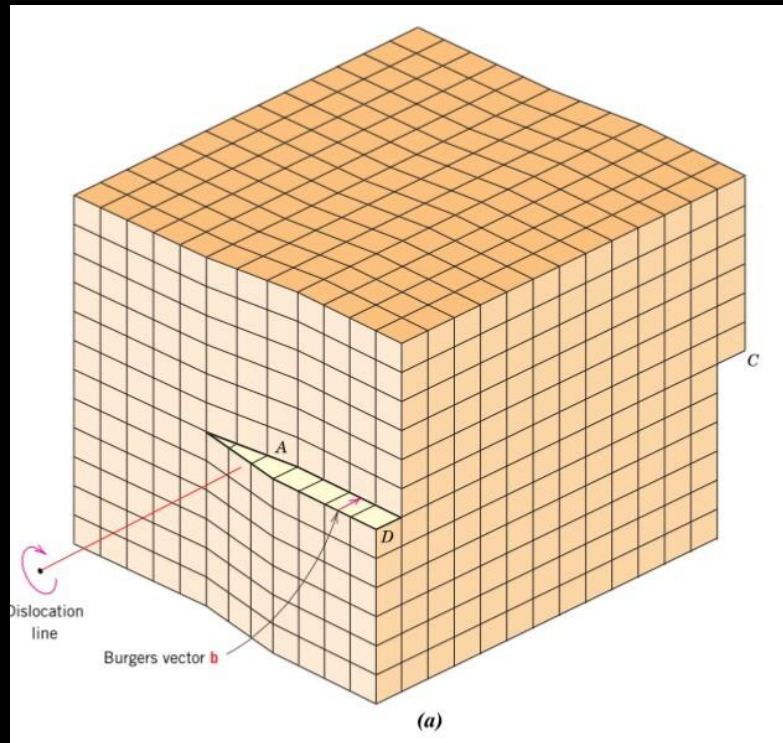




نابجایی پیچی (Screw dislocation)

کریستال تحت دو تنش برشی قرار می گیرد و در اینجا، بردار برگرز در راستای (موازی) خط نابجایی می باشد.

25



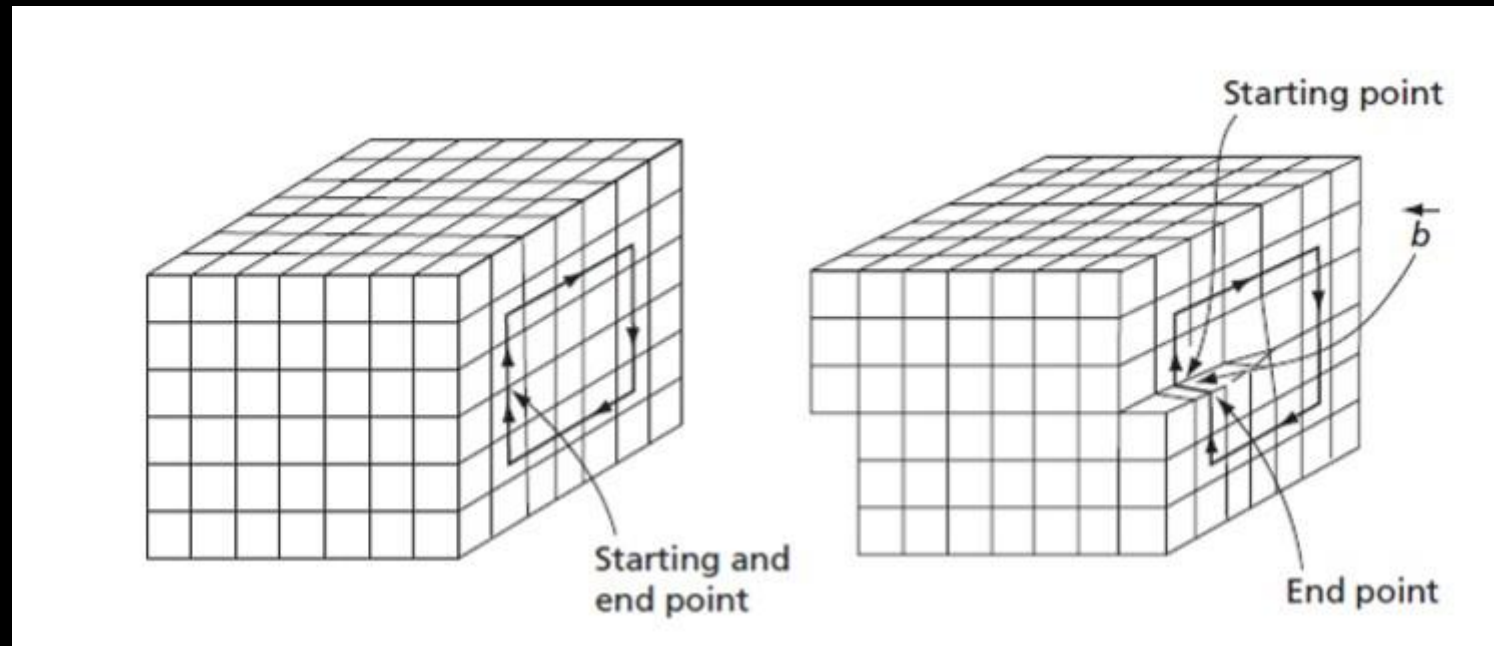
نابجایی پیچی

بردار برگرز

موازی

نابجایی پیچی (Screw dislocation)

26

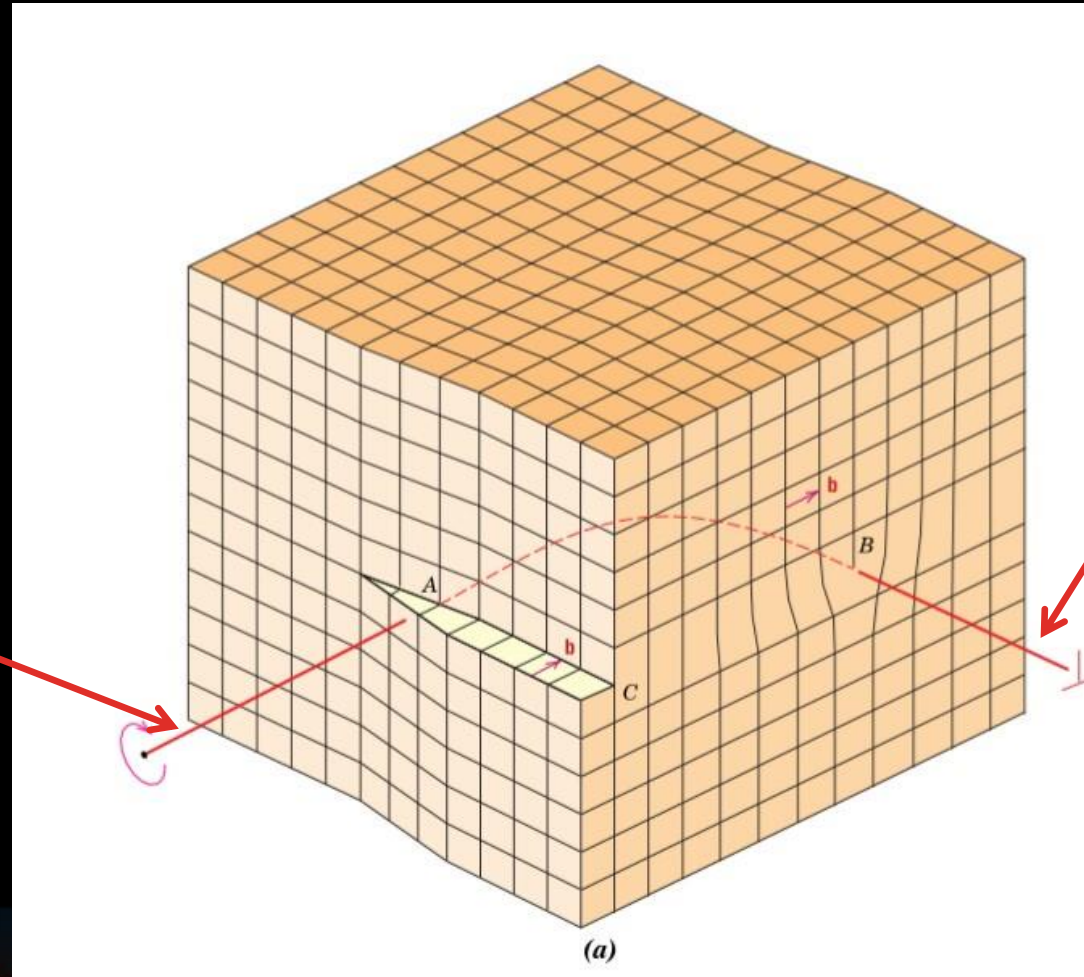


نابجایی مختلط (Mixed dislocation)

مخلوطی از دو نابجایی لبه ای و پیچشی می باشد.

27

نابجایی پیچشی



نابجایی لبه ای

عیوب سطحی

-مرزدانه

28

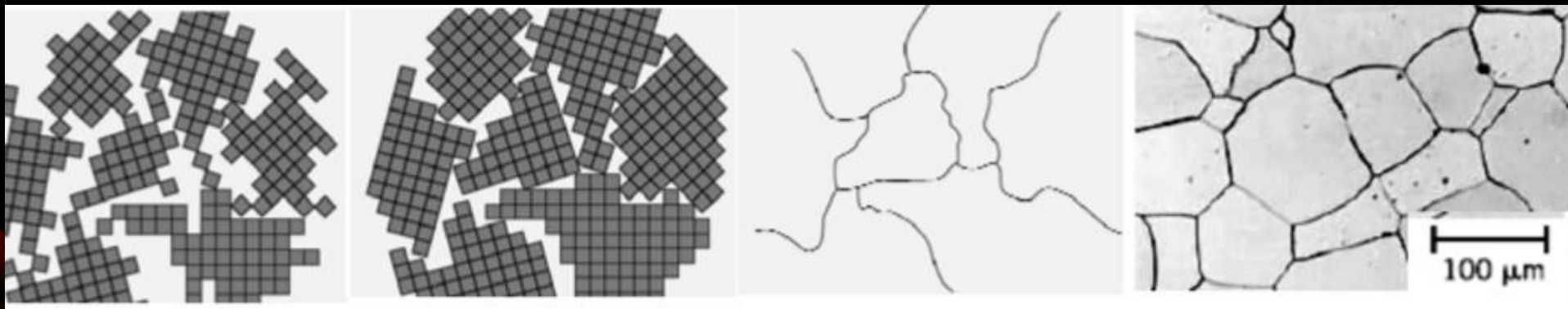
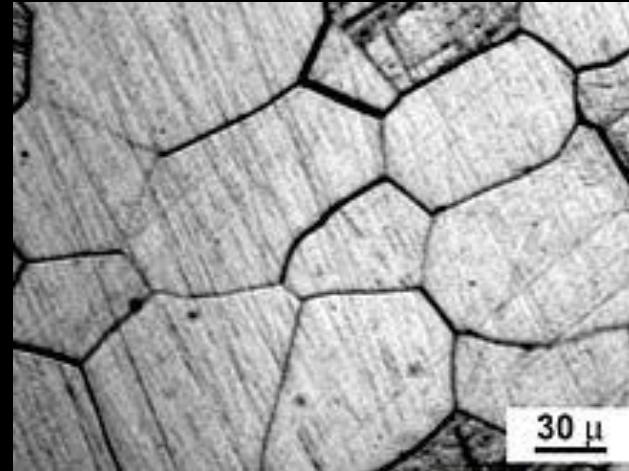
- مرز دوقلویی

-عیب نقص چیده شدن صفحات اتمی

مرز دانه (grain boundary)

ساختار میکروسکوپی فلزات از تعدادی دانه تشکیل شده است و مرز دانه نوعی نقص صفحه ای که دو دانه مجاور غیر هم جهت را از هم جدا می کند.

29

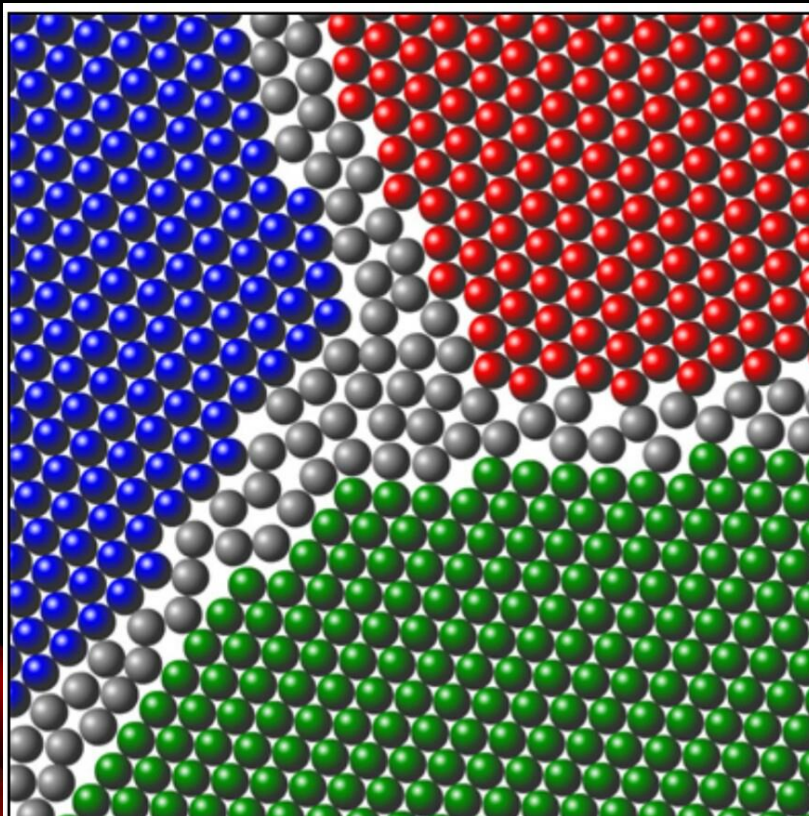


محل برخورد دانه های رشد یافته در حین انجماد، مرز دانه را تشکیل می دهد.

مرز دانه (grain boundary)

- انواع مرز دانه
- مرز دانه با زاویه بزرگ (اختلاف جهت دانه ها بیش از ۱۰ الی ۱۵ درجه می باشد)
 - مرز دانه با زاویه کم (اختلاف جهت دو دانه مجاور، کمتر از ۱۰ درجه باشد)

30

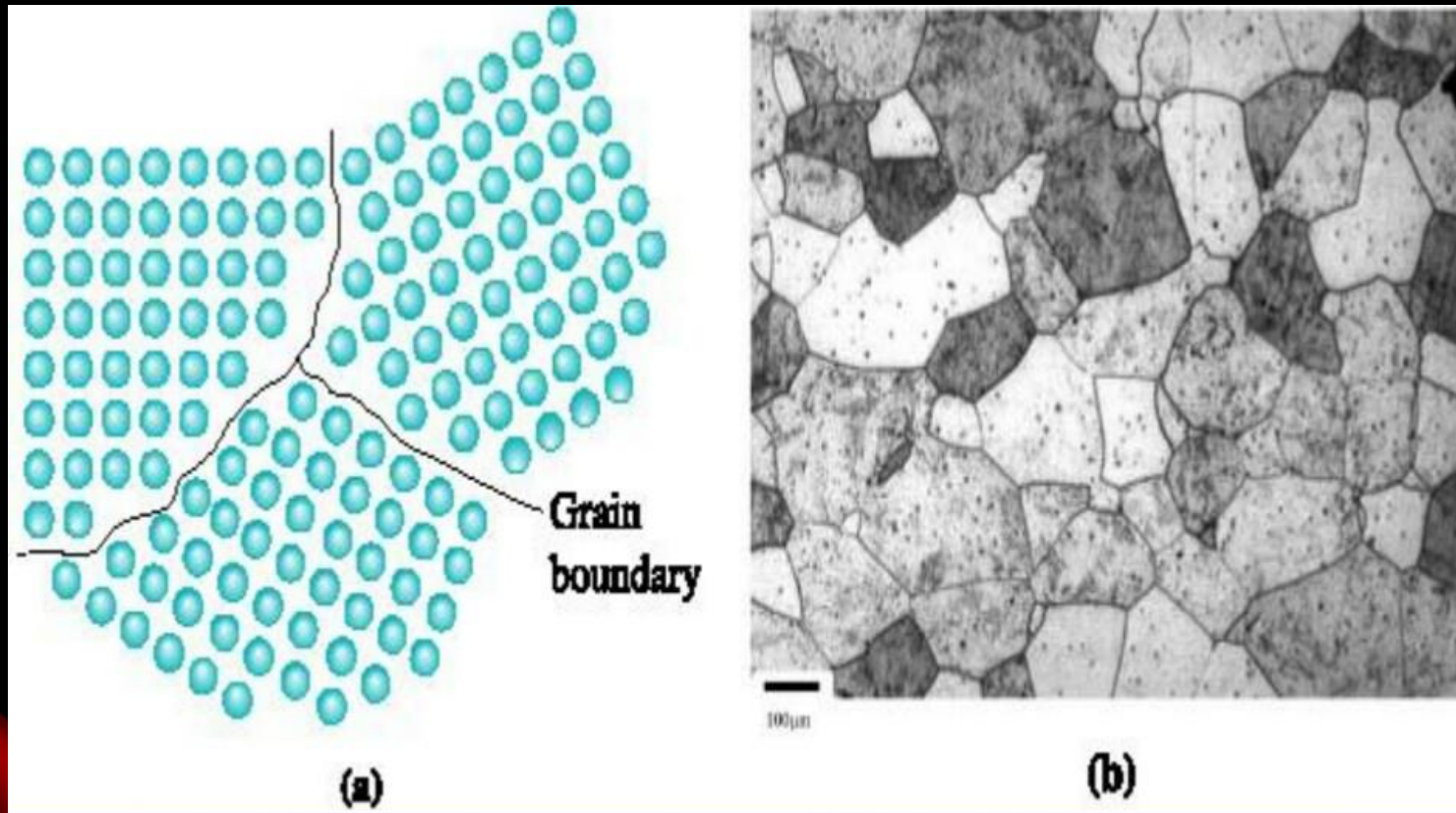


ضخامت مرزدانه بین دو تا پنج اتم می باشد.

مرز دانه (grain boundary)

مرز دانه دارای سطوح انرژی بالاتری نسبت به داخل دانه می باشد، که این سبب می گردد که ناخالصی ها در مرز دانه ها تجمع یابند که به این پدیده جدایش (segrigation) می گویند.

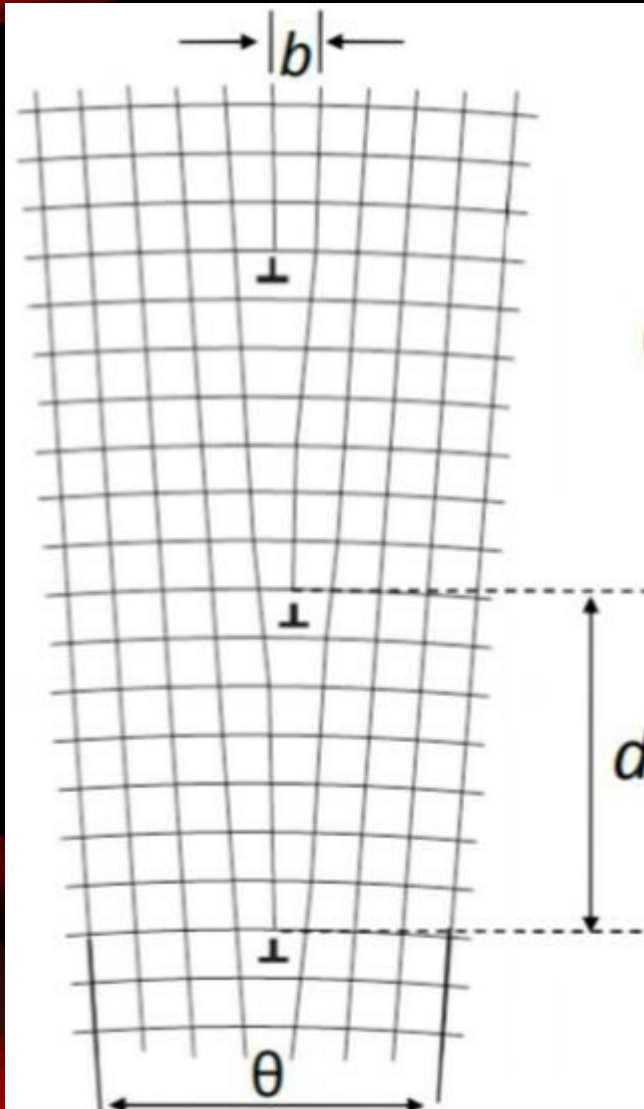
31



مرز دانه (grain boundary)

مرزدانه با زاویه کم را می توان توسط آرایشی از نابجایی ها نشان داد.

32



زاویه بین دو دانه

$$\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{b}{2d}$$

بردار برگرز

فاصله بین نابجایی ها

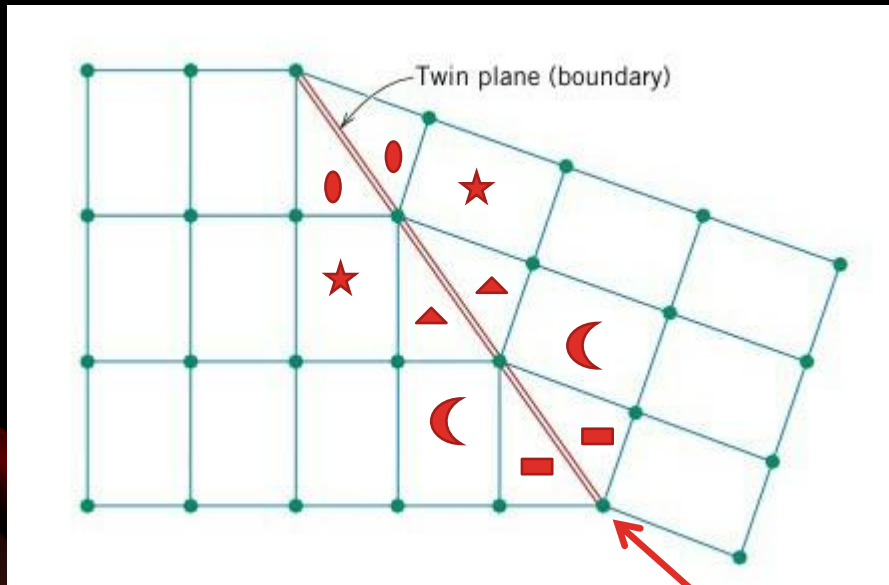
مرزهای دوقلویی (twin boundaries)

در این نوع نقص، ترتیب اتمی در یک طرف مرز، انعکاس آینه ای ترتیب اتمی در طرف دیگر می باشد.

33

انواع دوقلویی

- دوقلویی ناشی از آنیل ← در خلال تبلور مجدد FCC
- دوقلویی ناشی از تغییر شکل ← در حین فرآیند تغییر شکل پلاستیک BCC,HCP



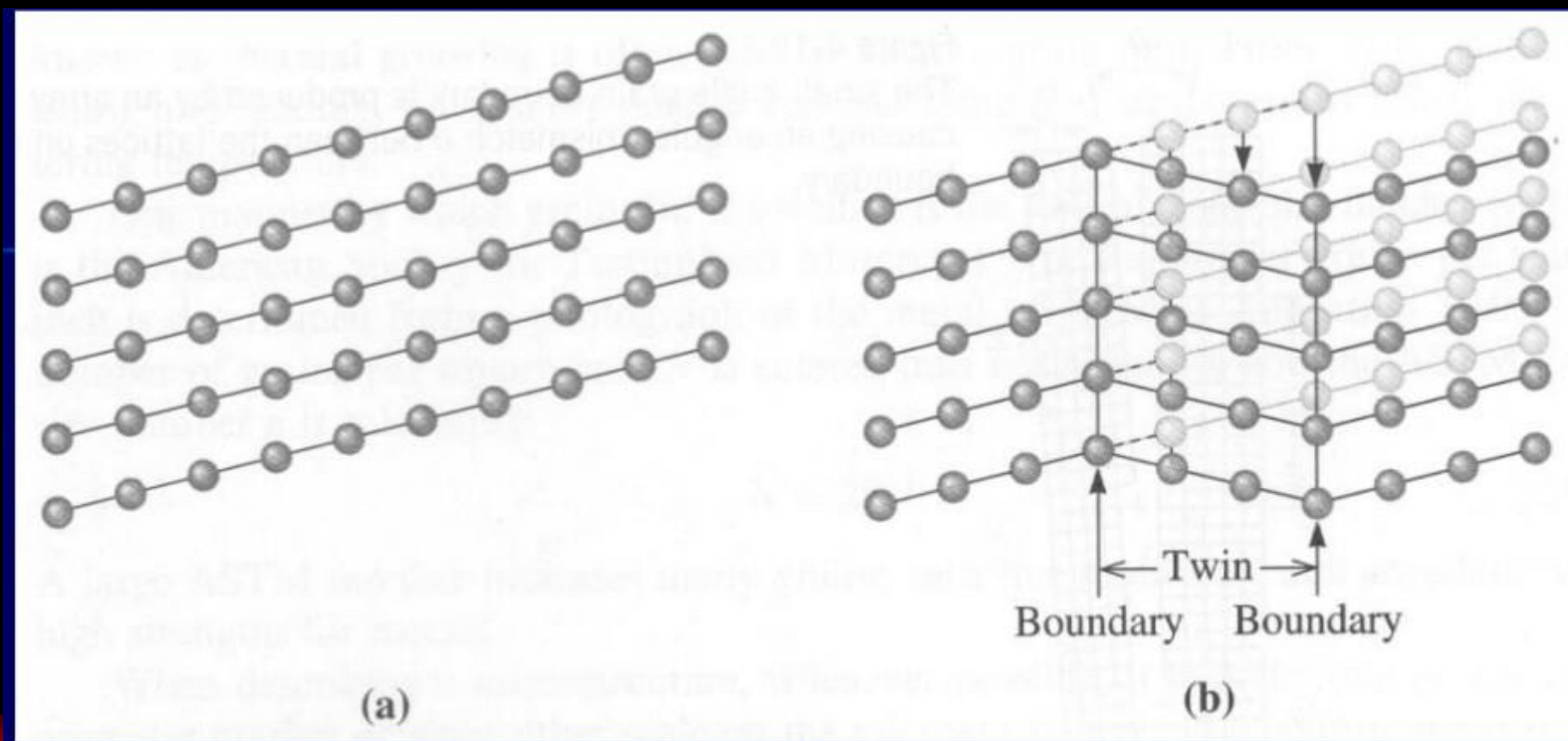
دوقلویی مکانیکی

در دمای کم و نرخ بارگذاری بالا رخ می دهد.

مرزهای دوقلویی (twin boundaries)

مرزهای دوقلویی به صورت جفت می باشند به گونه ای که تغییر جهت ایجاد شده توسط یکی، توسط دیگری به حالت خود برمی گردد.

34



مرزهای دوقلویی (twin boundaries)

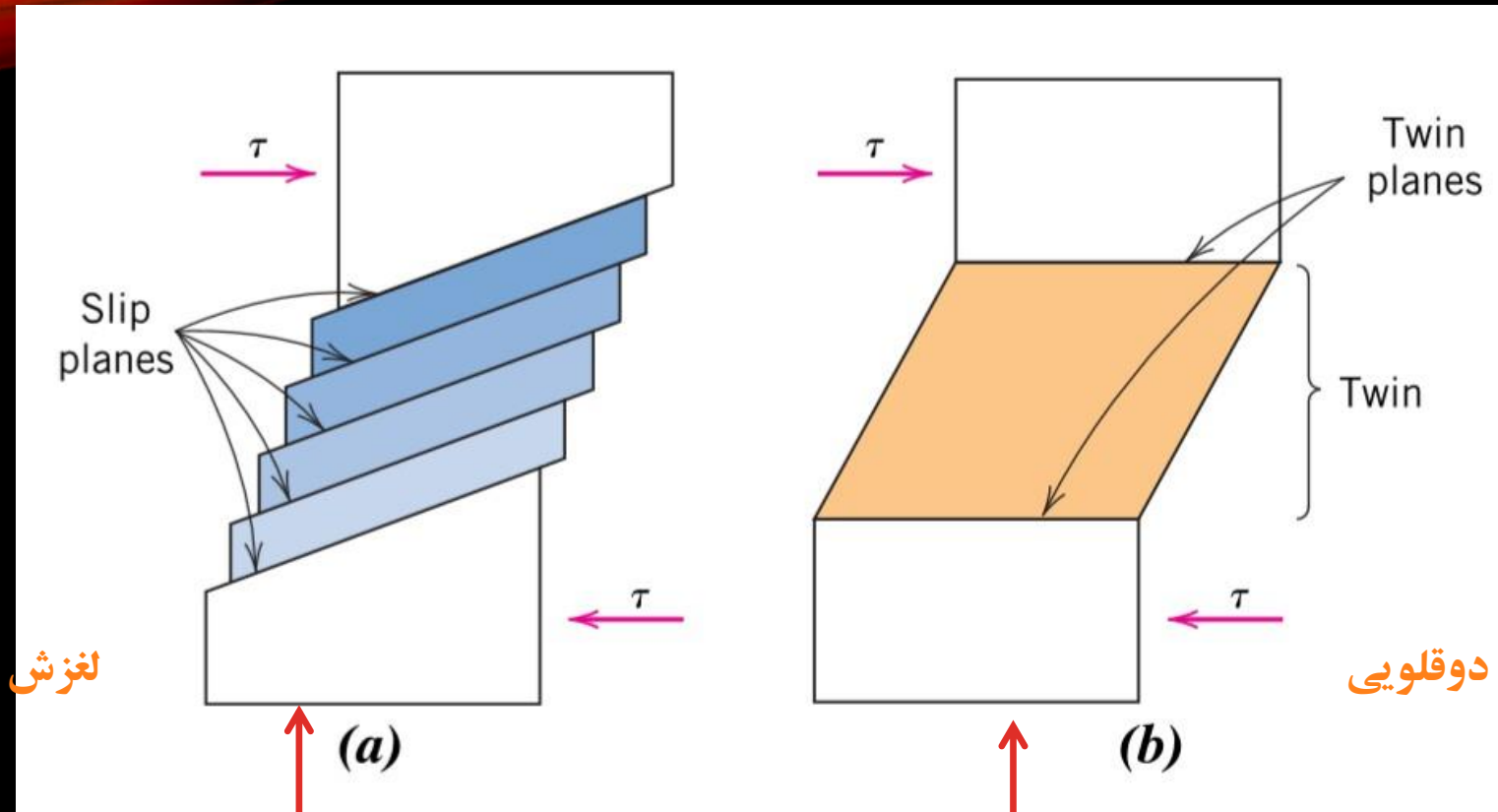
35



مرزهای دوقلویی ناشی از آنیل در آلیاژ برنج

تفاوت لغزش و دوقلویی

36

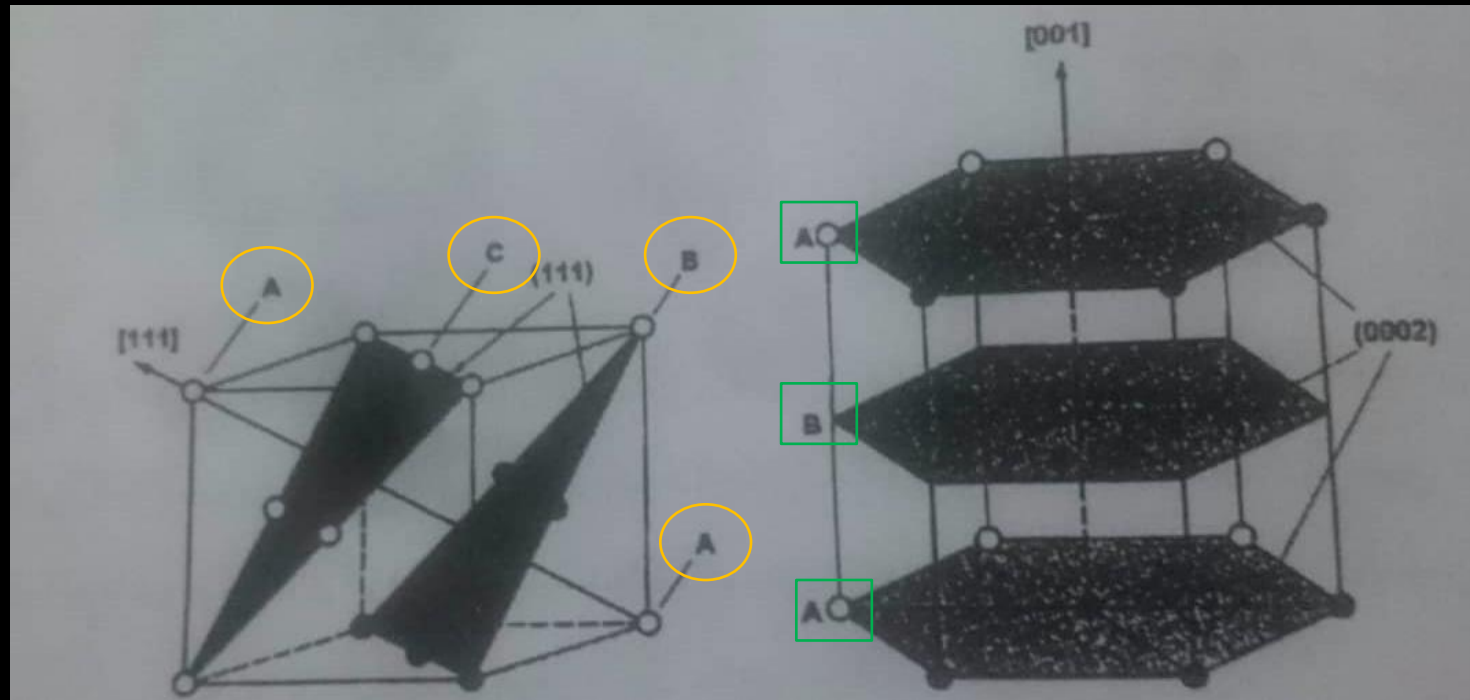


-در لغزش جهات کریستالی در دو طرف صفحه لغزش، قبل و بعد از تغییر شکل پلاستیک می باشد.
-جابجایی اتمی به اندازه چندین فاصله بین اتمی می باشد.

-در دو طرف صفحه دوقلویی تغییر جهت کریستالی ایجاد می گردد.
-جابجایی اتمی کمتر از فاصله بین اتمی می باشد.

عیب نقص چیده شدن در صفحات اتمی (stacking fault)

37



FCC

HCP

