

ла бы двигаться путем скольжения). Постепенное выгибание дислокации может происходить лишь при непрерывно возрастающем напряжении τ , которое достигает максимального значения в момент, когда дислокация принимает форму полукружности. При этом

$$\tau_{кр} = \frac{Gb}{l} \quad (3.52)$$

где l — длина отрезка AB . Это напряжение — критическое.

При τ , превышающих $\tau_{кр}$, конфигурация становится нестабильной и дислокация самопроизвольно расширяется, занимая положения 2, 3, 4. В положении 4 части дислокационной петли S и S' имеют винтовые компоненты противоположного знака, т. е. они движутся навстречу друг другу в одной и той же плоскости скольжения и взаимно уничтожаются. В результате этого происходит разделение дислокации на две: внешнюю и внутреннюю (положение 5). Внешняя дислокация разрастается до поверхности кристалла, а внутренняя занимает исходное состояние. После этого весь процесс начинается сначала и будет продолжаться до тех пор, пока приложены внешние напряжения. Число дислокаций, генерируемых источником Франка—Рида, неограниченно, но в общем случае не все внешние дислокационные петли покидают кристалл. Число дислокаций увеличивается до тех пор, пока в результате взаимодействия упругих полей дислокаций суммарное обратное напряжение не сбалансирует критическое напряжение сдвига $\tau_{кр}$, необходимое для действия источника. После этого источник становится неактивным.

Дж. Бардин и С. Херинг описали другой механизм генерации дислокаций. Отчасти он аналогичен механизму Франка—Рида. В данном случае также осуществляется выгибание закрепленного отрезка дислокации, но не скольжением, а переползанием. Действие источника Бардина — Херинга можно понять, если предположить, что плоскость скольжения краевой дислокации AB (см. рис. 3.29) лежит не в плоскости листа, как в предыдущем случае, а расположена в плоскости, перпендикулярной ему. Движение дислокации вверх и вниз может происходить за счет зарождения или поглощения вакансий. Когда расширяющаяся петля перекрывается (аналогично S и S' на рис. 3.28), дислокация разрывается, образуется внешняя петля и восстанавливается исходный отрезок AB . Ясно, что действие такого источника зависит от концентрации вакансий. Кроме рассмотренных существуют и другие источники дислокаций.

3.13. ДЕФЕКТЫ УПАКОВКИ И ЧАСТИЧНЫЕ ДИСЛОКАЦИИ

Выше отмечалось, что *дефекты упаковки*, границы зерен и двойников, границы доменов, поверхность кристалла относятся

к двумерным дефектам. Рассмотрение вопросов, связанных с поверхностью и границам доменов, будет проведено в последующих главах. Здесь мы кратко остановимся на дефектах упаковки и границах зерен.

Дефекты упаковки связаны с так называемыми *частичными*, или *неполными*, дислокациями. Дислокации, которые были рассмотрены выше, называют *совершенными*, *полными* или *единичными*. Их вектор Бюргера равен вектору решетки.

Образовать частичную дислокацию можно так же, как и единичную, т. е. сделав в кристалле разрез по поверхности S (см. рис. 3.8) и сместив края разреза на вектор \vec{b} . Если вектор \vec{b} меньше вектора решетки, то наблюдается несовпадение решеток по обе стороны поверхности разреза. Край поверхности несовпадения называют *частичной дислокацией*. Заметим, что при образовании единичной дислокации имеет место совпадение решеток с обеих сторон поверхности S .

В случае несовпадения решеток поверхность разреза S должна иметь, вообще говоря, очень высокую энергию. Поэтому в большинстве кристаллов таких смещений не происходит. Однако в плотноупакованных кристаллах частичные дислокации и связанные с ними дефекты упаковки образуются достаточно легко.

ГЦК- или ГПУ-структуру можно представить как серию плотно упакованных плоскостей, уложенных друг на друга. В ГЦК-структурах плотно упакованными являются плоскости (111). Пусть A, B, C, D, E, \dots — атомы, лежащие в последовательных плоскостях (111) (рис. 3.30). Из рисунка видно, что в проекции на одну из плоскостей (111) атомы D совпадут с атомами A , атомы E — с атомами B и т. д., т. е. всю последова-

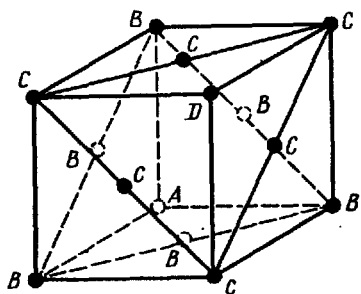


Рис. 3.30. Гранецентрированная кубическая решетка

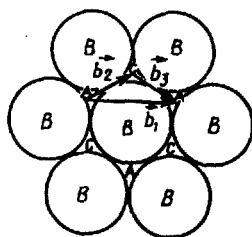


Рис. 3.31. Возможные смещения атомов в плотноупакованной плоскости (показаны векторами $\vec{b}_1, \vec{b}_2, \vec{b}_3$)

тельность плотноупакованных плоскостей можно записать так: ABCABC... В ГПУ-кристалле последовательность другая — ABABAB...

На рис. 3.31 показано расположение атомов в одной из плоскостей (111). Если произвести сдвиг верхнего слоя (на рисунке он не изображен) на расстояние AA, то атомы вышележащей плоскости попадут из лунки А снова в лунку А, т. е. после смещения структура вдоль плоскости скольжения восстанавливается. Такой сдвиг соответствует образованию единичной дислокации с вектором Бюргерса \vec{b}_1 . Если же произвести сдвиг верхней плоскости относительно нижней на вектор \vec{b}_2 или \vec{b}_3 , то атомы из лунки А попадут в лунку С или из С в А. При этом нарушается порядок чередования плоскостей (111). Вместо обычной последовательности ABCABC... возникает последовательность... ABCABABCABC... Таким образом, в ГЦК-структуре возникает тонкая прослойка гексагональной плотной упаковки ГПУ. Это и есть дефект упаковки. Края дефекта упаковки представляют собой частичные дислокации.

В ГЦК-решетке дефекты упаковки можно образовать не только путем скольжения. Можно, например, удалить плотно упакованный слой за счет диффузии вакансий на этот слой, а затем сомкнуть соседние слои. Так, после удаления слоя В последовательность будет ...ABCACABC... Такой дефект получил название *дефекта упаковки вычитания*. Его можно считать слоем САСА гексагональной плотноупакованной структуры.

Можно, наоборот, в результате диффузии междоузельных атомов ввести лишний слой в промежуток между соседними слоями. Тогда при введении, например, слоя В сформируется упаковка ...ABCBAVC... Этот дефект называют *дефектом упаковки внедрения*. Его можно рассматривать как две смежные двойниковые границы ВСВ и ВАВ.

3.14. ГРАНИЦЫ ЗЕРЕН

Поликристаллы состоят из большого числа мелких монокристаллических зерен, разделенных некоторыми зонами перехода, получившими название *границ зерен*. Граница зерна представляет собой поверхность между двумя монокристаллами различной ориентации, примыкающими друг к другу таким образом, что отсутствует нарушение сплошности вещества. Долгое время считалось, что это аморфный слой толщиной в несколько десятков нанометров. Однако к настоящему времени надежно установлено, что ширина области «плохого» материала на границе между зернами не превышает одного-двух межатомных расстояний.

Бюргерсом было высказано предположение, что границы