

УДК 538.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ДЕФЕКТА УПАКОВКИ В ГЕРМАНИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Можжерин А.В.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Логинов Ю.Ю.

Сибирский федеральный университет

Наиболее качественным методом исследования структурных дефектов полупроводниковых материалов является электронная микроскопия. Сегодня хорошо известно, как образуются, развиваются и эволюционируют дефекты в большинстве материалов, однако намного меньше информации о структурных дефектах в материалах типа A_2B_6 . Которые являются исключительно важными в большинстве наукоемких отраслей экономики. Одним из основных материалов A_2B_6 является германий, который наряду с кремнием является наиболее часто используемым материалов современных наукоемких технологий.

Анализ данных по работам в области закономерностей образования структурных дефектов в германии показал, что существует ряд качественных параметров дефектообразования. Одним из наиболее важным и недостаточно изученным является энергия дефекта упаковки (ЭДУ). Данная величина показывает насколько тот или иной материал дефектостоек, а также позволяет качественно оценить различные родственные материалы по ключевым параметрам дефектообразования.

Первыми способами вычисления энергии дефекта упаковки были методы определения энергии двойниковой границы и температурной зависимости кривых напряжений. Существенным недостатком этих методов являлась приблизительная величина ЭДУ, что не давало в полной мере использовать эти данные. С момента применения электронно-микроскопических методов, и главным образом просвечивающей электронной микроскопии, данные стали более точными и достоверными. В нашей работе используется метод определения ЭДУ по ширине полоски дефекта упаковки. Хотя он был разработан еще в середине XX века, с развитием электронной микроскопии, возможно его использование на более высоком уровне.

Для определения ЭДУ необходимо обратить внимание на несколько ключевых параметров: во-первых на расстояние на которое разойдутся частичные дислокации. Оно определяется равновесием между силой взаимного отталкивания дислокаций. Сила отталкивания на единицу длины между двумя параллельными дислокациями в вектором Бюргерса b_1 и b_2 определяется выражением

$$F = \frac{\mu}{2\pi d} \left(\frac{b_{1e}b_{2e}}{1-\nu} + b_{1s}b_{2s} \right) \quad (1)$$

где индекс e относится к краевой, а индекс s – винтовой компоненте, μ – модуль сдвига, а ν – коэффициент Пуассона.

Сила притяжения между дислокациями на единицу длины равна

$$-\frac{dE}{dx} = -\gamma \quad (2)$$

Зная силу притяжения и отталкивания можно определить расстояние между частичными дислокациями в полоске дефекта упаковки, представленной на рис. 1. (С. Амелинкс «Методы прямого наблюдения дислокаций», М. 1968г.)

$$d = d_0 \left(1 - \frac{2\nu}{2-\nu} \cos 2\varphi \right) \quad (3)$$

Где

$$d_0 = \frac{\mu b^2}{8\pi\gamma} \frac{2-\nu}{1-\nu}$$

Отсюда

$$\gamma = \frac{\mu b^2 (2-\nu)}{8\pi d_0 (1-\nu)} \quad (4)$$

ν – коэффициент Пуассона, φ – угол между полным вектором Бюргерса и направлением полоски, b – вектор Бюргерса, γ – ЭДУ, μ – модуль сдвига.

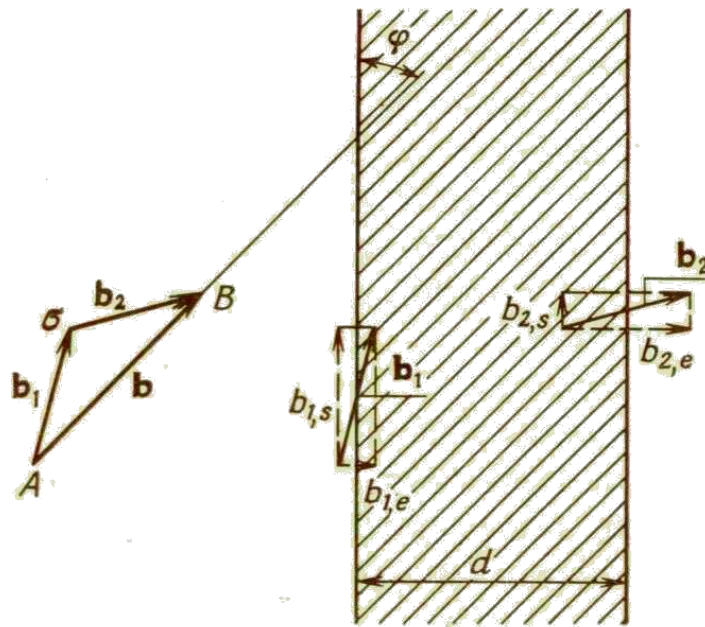


Рис. 1. Схема полоски дефекта упаковки

Используя просвечивающий электронный микроскоп JEOL 2100 нами был исследован германий. Типичными дефектами для монокристаллов германия являются – дислокации, дислокационные стенки практически краевых дислокаций (рис.2 а и б), большую сложность при поиске дефектов представляют экстинкционные контура (рис.2в.), которые внешне очень похожи на структурные дефекты (дислокации, дефекты упаковки и др.), однако таковыми не являются. Также они накладываются на изображения дефектов, тем самым мешая их обнаружению. Эта проблема была решена использованием гониометра. Путём поворота образца на различные углы, экстинкционные контура перемещались по образцу, в то время как структурные дефекты оставались неподвижны, меняя лишь свою яркость.

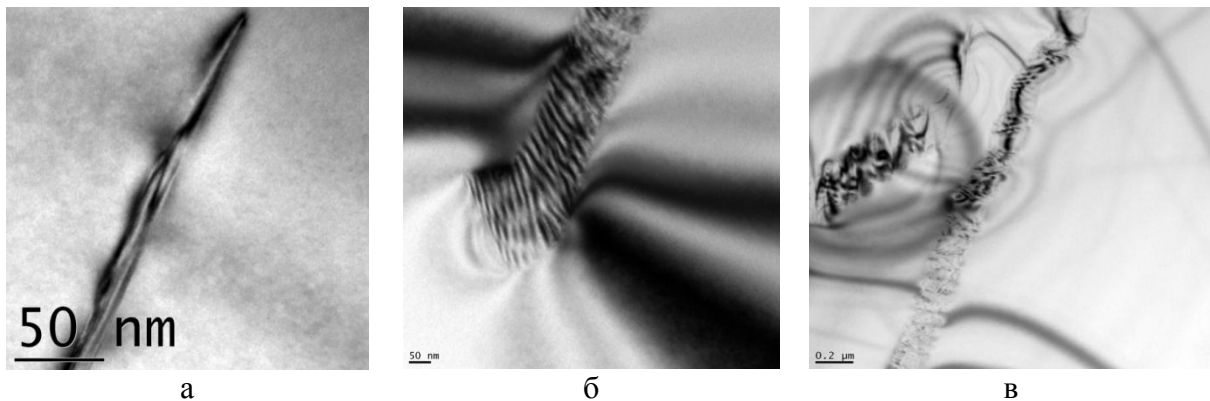


Рис. 2. Микрофотографии германия полученные на ПЭМ JEOL 2100

а – одиночная дислокация; б - светлопольное изображение края дислокационной стенки практически краевых дислокаций; в - экстинкционные контура

По полученным результатам были определены: плотность дефектов, ширина полосок дефекта упаковки (d) (формула 4), а затем вычислена ЭДУ (γ).

Значение ЭДУ составило $9 \cdot 10^{-2}$ Дж/м, а плотность дефектов $< 10^5$ см²

По результатам работы можно сделать вывод: вычисленное значение ЭДУ - $9 \cdot 10^{-2}$ Дж/м, является достаточно высоким и свидетельствует о низком содержании структурных дефектов в данном образце. Что и подтвердилось в эксперименте: плотность дефектов имеет очень низкое значение для данной категории веществ и составляет: $< 10^5$ см².