

О РОЛИ ДИФфуЗИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ В ПРОЦЕССЕ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ НА КОНЦЕНТРАТОРАХ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ГЕРМАНИИ

Надточий В. А., Уколов А. И., Нечволод Н. К.

Славянский государственный педагогический университет, Украина, Донецкая обл., 84116, г. Славянск, ул. Генерала Батюка, 19, Ukolov_aleksei@mail.ru

Низкотемпературное деформирование кристалла Ge циклами одноосного сжатия - разгрузки сопровождается исключительно малой микропластичностью его приповерхностных слоев и потому при наличии сил трения на торцах создается неоднородное распределение напряжений [1]: они максимальны около торцов и боковых ребер образца и уменьшаются в направлении к середине боковых поверхностей. Градиенты напряжений могут создаваться также вблизи ростовых микродефектов, которые являются локальными концентраторами напряжений в решетке матрицы [2]. При температурах ниже $0,35T_{пл}$ в ковалентных кристаллах возможна и релаксация напряжений за счет направленного движения точечных дефектов вследствие изменения их химического потенциала в окрестности концентраторов напряжений на глубине ≤ 100 мкм. Второй механизм релаксации напряжений проявляется в виде генерации от включения призматических межузельных петель на глубине ≤ 5 мкм.

В данной работе использовалось совместное действие на кристалл циклической деформации одноосного сжатия – разгрузки и ультразвукового (УЗ) облучения. Первый фактор силового воздействия позволяет создать неоднородное распределение напряжений вдоль поверхности, второй – стимулирует интенсивное точечное дефектообразование, в результате чего на монокристаллах Ge при пониженных температурах удалось наблюдать протекание диффузионных процессов в поле градиента напряжений. В эксперименте использовали монокристаллический Ge типа ГЭ - 45г3, с плотностью ростовых дислокаций $\sim 4 \cdot 10^3$ см⁻². Образцы размерами $3 \times 4 \times 10$ мм³ деформировали при $T=300$ К вдоль большего ребра (10мм), ориентированного по направлению [110].

На рис. 1 приведен снимок структуры циклически деформированного с одновременным УЗ облучением образца при длительности одного цикла сжатия – разгрузки 0,2 часа.

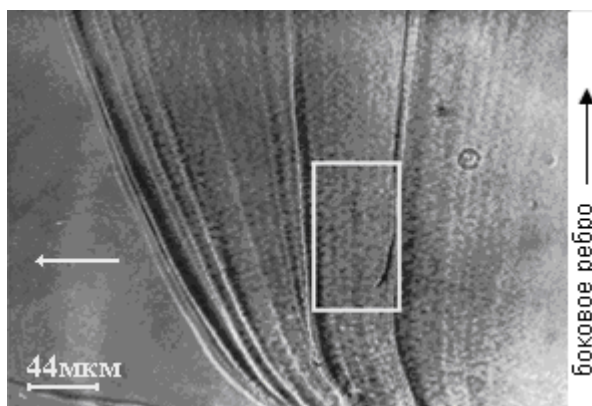


Рис. 1 Иллюстрация развития дефектной структуры вблизи бокового ребра на плоскости (111) образца Ge, деформированного циклами сжатия-разгрузки с одновременным УЗ-

облучением. Максимальное напряжение в цикле сжатия 12 кгс/мм^2 , время деформации в одном цикле 0,2 часа, количество циклов 12, температура испытаний 30°C ;

После такого нагружения избирательным травлением выявлена многоконтурная дефектная структура, образовавшаяся в результате диффузии точечных дефектов от концентратора (бокового ребра) к средней части боковой поверхности по указанному на снимке направлению. Каждое очередное нагружение кристалла сопровождается образованием одной протяженной ступеньки. Особенность проявления такой рельефной структуры можно объяснить разной скоростью химического травления поверхности, которая зависит от остаточных напряжений растяжения и сжатия в приповерхностном слое, созданных диффузионным перераспределением межузельных атомов и вакансий. Эксперимент показал, что более глубокие канавки после травления поверхности образуются от скопления межузельных атомов.

Более детальная информация относительно дефектообразования в периодической структуре была получена с помощью электронной просвечивающей микроскопии (рис. 2).

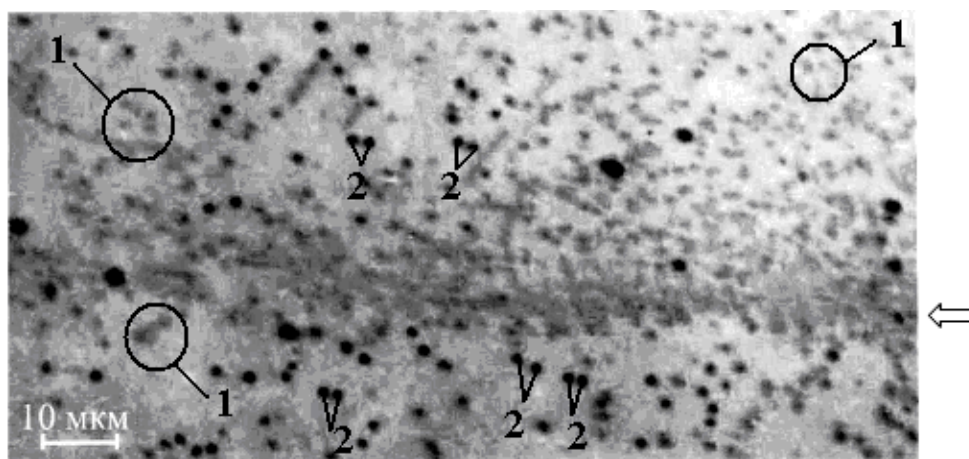


Рис. 2 Электронно-микроскопичный снимок, снятый из отмеченной рамкой участка на рис. 1

В полосе сжатия, указанной стрелкой, создается пересыщение вакансий, а их равновесная концентрация зависит от напряжения σ как $c=c_0\exp(\pm\sigma v_a/kT)$, где c_0 – равновесная относительная концентрация вакансий при $\sigma = 0$, v_a – атомный объем. В формуле следует брать $(+\sigma)$ для напряжения сжатия, а $(-\sigma)$ для напряжения растяжения. Это напряжение сначала уменьшается по обе стороны от полосы, а затем меняет знак на противоположный, где следует ожидать пересыщение межузельными атомами. Разным напряжениям $(+\sigma)$ соответствует своя равновесная концентрация вакансий, а поэтому изменяются и размеры кластеров в виде пор, обозначенных (1) на рис.2. Примеси кислорода и углерода в выращенных кристаллах Ge играют роль центров зарождения кластеров.

В зонах недосыщения вакансиями и пересыщения межузельными атомами (верхняя и нижняя часть рис. 2) создаются условия для зарождения и роста новых призматических петель дислокаций, а также роста уже существующих петель после выращивания кристалла (обозначено 2 на рис. 2). В отличие от вакансионных кластеров, места выхода на поверхность от каждой дислокационной петли имеют более высокий контраст и одинаковые размеры изображения около 1 мкм. Обращает на себя внимание тот факт, что в полосе с пересыщением вакансиями дислокационные петли не наблюдаются, т.е. новые деформационные петли не

генерируются вследствие релаксации напряжения на границе включения с матрицей, а ростовые межузельные петли растворяются. Поэтому УЗ обработка кристаллов с целью уменьшения плотности ростовых микродефектов в приповерхностных слоях в виде, например, В-кластеров [2] может быть использована в технологии производства полупроводниковых приборов.

1. Надточий В.А. Микропластичность алмазоподобных кристаллов (Si, Ge, GaAs, InAs). Дисс. докт. физ.-мат. наук, ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков (2006).
2. Таланин В.И., Таланин И.Е. Особенности гетерогенного механизма образования и трансформации ростовых микродефектов в бездислокационных монокристаллах кремния. Матер. электронной техники, 2004 (2), сс. 14–24 .