

05.1;05.2

©1994

ОБРАЩЕННЫЙ ЭФФЕКТ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛАХ

В.А.Перевощиков, В.Д.Скупов

В настоящее время экспериментально и теоретически доказано, что структурные изменения в поли- и монокристаллах при абразивной обработке поверхности или ионном облучении не только локализуются в приповерхностной области, но и происходят на глубинах, существенно превышающих толщину основной зоны выделения энергии внешнего воздействия (см., например, [1-3]). В этом состоит суть эффекта, названного дальнодействием. Природа эффекта связывается с трансформацией примесно-дефектного состава кристаллов, инициируемой неравновесными собственными точечными дефектами и упругими волнами, возникающими при структурных превращениях вблизи возбуждаемой поверхности.

Аномально глубокие изменения структурно-чувствительных свойств обычно фиксируются в зависимости от расстояния до возбуждаемой поверхности в направлении распространения потоков точечных дефектов и фронта упругих волн в объеме кристалла. Такая пространственная однонаправленность процессов на больших глубинах дает основание ввести понятие о прямом эффекте дальнодействия. Именно проявлением прямого эффекта чаще всего объясняются результаты, регистрируемые в экспериментах по изучению дальнодействия. При этом не учитывается возможная активная роль процессов перестройки дефектности, сосредоточенной в объеме и вблизи стороны кристаллов-пластин, противоположной возбуждаемой. Вместе с тем, ряд хорошо известных явлений — таких, как гетерирование примесей и дефектов нарушенными слоями на одной стороне кристалла или "отображение" дефектной структуры одной стороны на другую [3] — косвенно свидетельствует о взаимном влиянии процессов, протекающих в объеме и вблизи каждой из сторон кристалла при его одностороннем возбуждении.

В [4] было получено прямое доказательство влияния на процессы дефектообразования в ионно-легированных слоях кремниевых пластин степени структурного совершенства, обратной по отношению к облучаемой стороне. В частности, показано, что глубина проникновения радиационных

нарушений в кристалл уменьшается с увеличением плотности дефектов на обратной стороне. Гетерирующие свойства нарушенных слоев подавляются после отжига или длительной выдержки кристаллов перед облучением при комнатной температуре. Эти факты указывают на существование обращенного эффекта дальнего действия, при котором результат структурных изменений непосредственно вблизи возбуждаемой поверхности оказывается зависящим от состояния и степени дефектности на больших глубинах, вплоть до обратной стороны кристаллов. Последнее подтверждают и приводимые в настоящей работе результаты исследования обращенного эффекта дальнего действия при механической обработке поверхности полупроводников.

Объектами исследований служили пластины монокристаллического кремния *n*-типа проводимости марки КЭФ-7.5 и полуизолирующего арсенида галлия марки АГЧП-6, имевшие ориентацию поверхности соответственно [111] и [001]. После подготовки поверхности пластин по стандартной технологии с финишным двухсторонним химико-динамическим полированием [3] на одной из сторон шлифованием свободным или связанным абразивом различной зернистости формировался нарушенный слой. Затем противоположная сторона подвергалась химико-механическому полированию суспензий аэросила на глубину 3–4 мкм. Проявление обращенного эффекта дальнего действия на этой стороне регистрировалось по измерениям на рентгеновском трехкристальном спектрометре деформации кристаллической решетки приповерхностного слоя и его микротвердости, которая определялась на приборе мод ПМТ-3.

На рис. 1 приведены кривые изменения деформации ($\Delta a/a$) и относительного приращения микротвердости ($\Delta H/H_0$, где H_0 — микротвердость до обработки) приповерхностного слоя после полирования в зависимости от диаметра d абразивных частиц, использовавшихся при шлифовании и полировании обратной стороны пластин Si и GaAs толщиной соответственно 350–360 мкм и 370–390 мкм. Видно, что с повышением степени дефектности вблизи противоположной стороны (т. е. увеличением d) происходит монотонное возрастание микротвердости и уменьшение остаточной деформации приповерхностного слоя после полирования. Такое поведение $\Delta a/a$ и $\Delta H/H_0$, вероятнее всего, связано с уменьшением концентрации кластеров точечных дефектов, преимущественно из собственных междоузельных атомов обрабатываемого материала, которые возникают и накапливаются вблизи поверхности при полировании [3]. Качественно это согласуется с "подтягиванием" к поверхности снятых при различных нагрузках на индентор про-

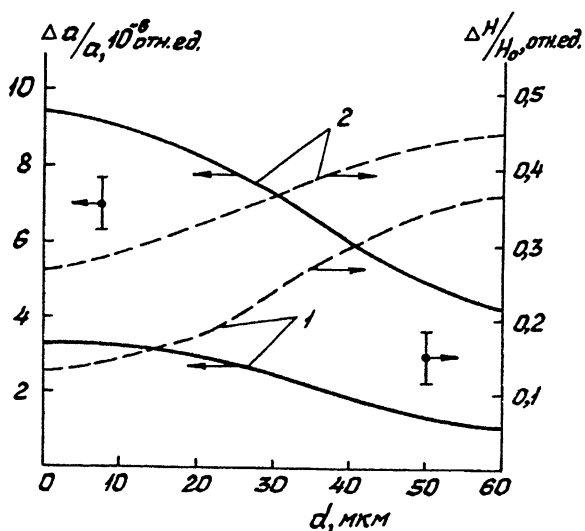


Рис. 1. Зависимость деформации (сплошные кривые) и относительного изменения микротвердости (пунктирные кривые) для пластин кремния (1) и арсенида галлия (2) от размеров абразивных частиц при обработке стороны, обратной исследуемой.

филей распределения микротвердости по глубине при повышении дефектности обратной стороны пластин. Основной причиной растворения или подавления процессов комплексообразования во время полирования могут быть прежде всего упругие волны, генерируемые при перестройке дефектов в нарушенном слое вблизи обратной стороны, например за счет взаимной аннигиляции вакансий и междоузельных атомов или их поглощения дислокациями. Сам же процесс перестройки дефектов в этом слое инициирован первичными упругими волнами, возникающими в зоне химико-механического полирования и усиливающимися при прохождении через объем кристалла [5]. При этом в поле первичных и ответственных за обращенный эффект дального действия вторичных упругих волн возможно образование неравновесных точечных дефектов, например по механизму, описанному в [6], которые также участвуют в трансформации примесно-дефектного состава пластин как в объеме, так и вблизи поверхности. Качественная схема возникновения прямого и обращенного эффектов дального действия при одностороннем возбуждении кристаллов показана на рис. 2.

Среди закономерностей проявления обращенного эффекта дального действия в экспериментах установлено также, что изменения $\Delta a/a$ и $\Delta H/H_0$ в зависимости от толщины пластин имеют характер, обратный ходу представленных на

Внешнее воздействие

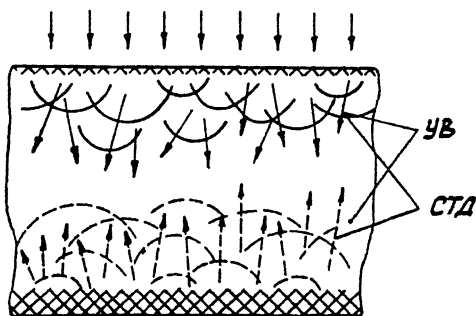


Рис. 2. Схема возникновения прямого (сплошные стрелки) и обратного (пунктирные стрелки) эффектов дальнего действия.

рис. 1 кривых: с увеличением толщины деформация решетки возрастает, а микротвердость — снижается. Последнее указывает на существенный вклад неконсервативных процессов в образование дислокационного каркаса отпечатков под индентором вследствие взаимодействия с дислокациями неравновесных собственных точечных дефектов, возникающих при распаде кластеров. Амплитуды изменения обоих параметров уменьшаются с увеличением длительности выдержки образцов между обработками или между обработками и измерениями. Релаксация обратного эффекта дальнего действия в большей мере свойственна GaAs по сравнению с Si, что по-видимому связано с большей плотностью ростовых структурных нарушений, играющих роль стоков для точечных дефектов и центров рассеяния упругих волн в бинарных полупроводниках.

Изложенные факты, по нашему мнению, доказывают необходимость проведения дальнейших исследований обратного эффекта дальнего действия, прежде всего в силу его несомненной практической значимости.

Список литературы

- [1] Павлов П.В. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1984. В. 3(31). С. 95–102.
- [2] Быков В.М., Малышкин В.Г., Хмелевская В.С. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1989. В. 3(50). С. 45–52.
- [3] Перевощикова В.А., Скупов В.Д. Особенности абразивной и химической обработки поверхности полупроводников. Н. Новгород, 1992. 198 с.

- [4] *Первощиков В.А., Скупов В.Д.* // Тез. докл. III Всесоюзн. конф. "Ионно-лучевая модификация полупроводников и других материалов микроэлектроники". Новосибирск, 1991. С. 87.
- [5] *Семи́н Ю.А., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 273-276.
- [6] *Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И.* // ФТП. 1987. Т. 21. В. 8. С. 1495-1497.

Нижегородский государственный
университет
им. Н.И. Лобачевского

Поступило в Редакцию
5 мая 1994 г.
В окончательной редакции.
14 сентября 1994 г.
