

Электрические свойства пластически деформированных кристаллов кремния

© М.А. Алиев, Х.О. Алиева, В.В. Селезнев

Институт физики Дагестанского научного центра Российской академии наук,
367003 Махачкала, Россия

(Поступила в Редакцию 6 апреля 1998 г.)

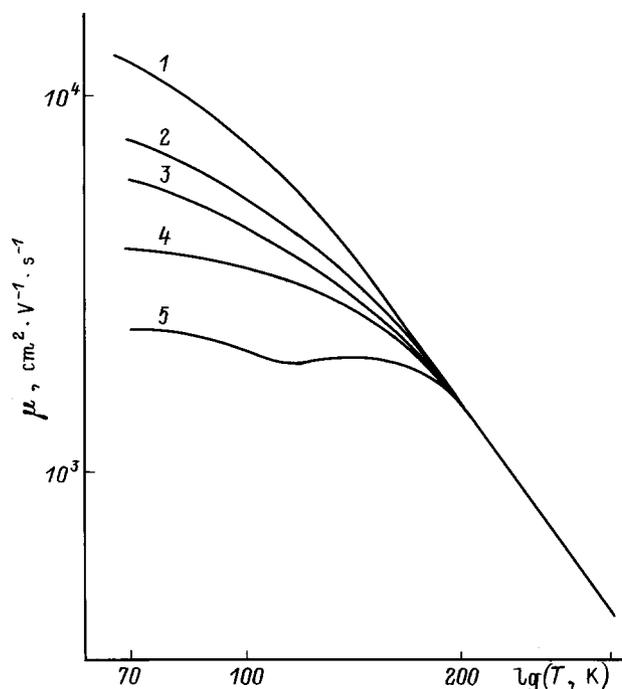
Исследовано влияние характера взаимодействия деформационных и примесных дефектов на эффекты рассеяния основных носителей заряда в монокристаллах кремния.

В предыдущей работе [1] выявлены особенности поведения кристалла кремния при электропластическом деформировании (ЭПД-способ) и одновременной реализации диффузии примесных атомов индия. Результатом реализации обоих процессов было обнаружение эффекта пластификации и ускоренной миграции примесных атомов. Естественно предположить, что обнаруженные эффекты обусловлены характером формирования структур деформационных дефектов в кристаллах, и они должны влиять на все их структурно-чувствительные свойства, в том числе и на электрические.

Несмотря на то что электрические свойства кристаллов с дислокациями, введенными термопластической деформацией (ТПД-способ), т.е. в условиях нагрева образца внешним теплом, исследуются различными авторами [2,3], вопрос об ответственности конкретных дефектов остается невыясненным [4,5]. Поэтому исследования, проведенные в данной работе по изучению влияния эволюционных процессов в дефектной структуре кристалла, прошедшего обработку в вышеописанном технологическом цикле, на его электрические свойства, представляют несомненный интерес.

В настоящей работе исследованы образцы монокристаллического *p*-кремния, исходно легированные галлием до концентраций дырок 10^{16} см^{-3} при комнатной температуре. Образцы в виде параллелепипедов размером $12 \times 10 \times 5 \text{ мм}$, ребра которых совпадали с кристаллографическими направлениями [112], [111], [110] соответственно, после термического напыления примеси на широкие грани складывались попарно и зажимались между пуассонами деформационной установки. Постоянный ток, проходящий через образец, служил одновременно и для нагрева образца и для создания постоянного электрического поля. Сжатие производилось вдоль [110] в условиях одновременного протекания диффузионно-деформационных процессов, в режиме стационарной ползучести при сдвиговом напряжении 12 МПа, температуре 973 К в течение 30 мин, в вакууме $13 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$. По окончании испытания анодная и катодная части образцов механически разделялись. Для измерения электрических характеристик из них вырезались полоски размером $9 \times 3 \times 1 \text{ мм}$. Измерения коэффициента Холла и электропроводности производились компенсационным методом на постоянном токе в магнитном поле 7620 Г в интервале температур 77–300 К, в металлическом криостате с автоматической регулировкой и точностью поддержания температуры $\pm 1 \text{ К}$.

На рисунке (кривые 1–5) в двойном логарифмическом масштабе приведены результаты экспериментальных исследований температурной зависимости подвижности дырок в интервале температур 77–300 К. Как видно из рисунка, величина и температурный ход подвижности всех деформированных образцов различаются между собой, а это различие проявляется при температурах ниже 200 К. Наибольшее рассеяние наблюдается на образце, прошедшем обработку ТПД-способом, наименьшее — на образце, прошедшем обработку ЭПД-способом, но вырезанном из его анодной части (кривые 5 и 2). Следует отметить, что образцы из серий ЭПД и ТПД были продеформированы на одинаковую величину ($\sim 1\%$). Однако по данным электронно-микроскопических исследований плотность дислокаций в образцах, прошедших обработку в режиме ЭПД, почти на два порядка меньше, чем в образцах из ТПД-режима. Среди образцов из



Температурная зависимость холловской подвижности дырок в контрольном (1), деформированных ЭПД- (2–4) и ТПД- (5) способами образцах кристаллов *p*-кремния. 2 — анодная, 3 — катодная, 4 — бездиффузионная части кристалла. Степень деформации 1.2%.

ЭПД-режима (кривые 2–4) наибольшее рассеяние наблюдается на образце, вырезанном из той части кристалла, где диффузия примеси не наблюдалась (кривая 4).

Наблюдаемая на рисунке картина температурной зависимости подвижности и ее различие для разных образцов связываются нами со спецификой образования и поведения деформационных дефектов в структуре исследуемых кристаллов. Так, наибольшее рассеяние в образце из ТПД-режима объясняется и более высокой плотностью дислокаций, и большей разориентированностью дислокационных трубок по сравнению со всеми образцами, деформированными электропластическим способом. Что касается различия в величинах подвижности для образцов из анодной и катодной частей кристалла, прошедшего обработку в режиме ЭПД при одновременной реализации электропереноса примесных атомов индия, то оно обусловлено взаимодействием диффундирующей примеси с подвижными дислокациями. Поскольку наибольшее рассеяние наблюдается для образца, в который не успела проникнуть диффундирующая примесь, налицо факт компенсирующей роли примеси индия в этих процессах. Известно также, что примеси имеют тенденцию высаживаться на дислокациях вследствие как упругого, так и электростатического притяжения [6] и, находясь в ядре дислокаций, могут существенно изменить спектр связанных с ними состояний. Результатом такого взаимовлияния и взаимопревращения деформационных дефектов является их перезарядка и нейтрализация, и как следствие возможна существенная компенсация совместного — дислокационного и примесного — электростатического взаимодействия с носителями. Таким образом, мы предполагаем, что ионы индия как сами в значительной степени исключаются из числа эффективных рассеивателей, так и заметно ослабляют рассеивающие свойства дислокаций. В качестве модели такой компенсирующей роли примеси можно представить замещение ею атома кремния на краю экстраплоскости. В этом случае ионы индия нейтрализуются, так как нет необходимости в создании четвертой ковалентной связи, одновременно дислокация лишается неспаренной валентной связи атома кремния, которая ранее участвовала в образовании заряда.

Поскольку в анодной части образца рассеяние меньше, чем в катодной, такая трактовка хорошо согласуется с ранее наблюдавшимся нами преимущественным переносом примесных ионов индия в сторону анода.

Список литературы

- [1] М.А. Алиев, Х.О. Алиева, В.В. Селезнев. ФТТ **38**, 11, 3372 (1996).
- [2] T. Alezander, H. Teichler. Mater. Sci. Technol. **4**, 249 (1991).
- [3] В.Г. Еременко, В.И. Никитенко, Я.Б. Якимов, Н.А. Ярыкин. ФТП **12**, 273 (1978).
- [4] В.И. Соколов. ФТП **29**, 5, 842 (1995).
- [5] Судзуки, Х. Есинга, С. Таксути. Динамика дислокаций и пластичность. Пер. с яп. М. (1989). 294 с.
- [6] И.А. Рыжкин. ФТТ **20**, 12, 3612 (1978).