

ПРИМЕСЬ-ДИСЛОКАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ.
I. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

© М.А.Алиев, Х.О.Алиева, В.В.Селезнев

Институт физики Дагестанского научного центра
Российской академии наук,
367003 Махачкала, Россия
(Поступила в Редакцию 17 июня 1996 г.)

Экспериментально исследованы дислокационные явления в условиях электропластической деформации монокристаллов кремния, легированных галлием.

Известно взаимовлияние деформационно-диффузионных процессов в кристаллах полупроводников на их характеристические параметры [1]. В частности, в кристаллах кремния примесь-дислокационное взаимодействие имеет весьма широкий спектр проявлений [2,3]. В случае электропластической деформации кремния специфика примесь-дислокационного взаимодействия может способствовать пониманию физических принципов, определяющих пластичность кристаллов. В данной работе предпринята попытка изучения влияния одновременно-го воздействия таких внешних параметров возбуждения, как направленный поток заряженных частиц, диффузионный поток примесных атомов, на деформационные характеристики кристаллов указанного типа. Объектом исследования служил монокристаллический кремний дырочного типа проводимости, легированный галлием, с разностной концентрацией дырок 10^{16} см^{-3} при комнатной температуре. Образцы в виде параллелепипедов размером $10 \times 8 \times 5 \text{ mm}$, ребра которых совпадают с направлениями [110], [112], [111] соответственно, деформировались сжатием в вакууме вдоль длинной оси в режиме стационарной ползучести при постоянных напряжениях 3.9, 7.8, 11.8 МПа в течение 30 min. Диффузانت наносился на очищенную широкую грань образца термическом испарением в вакууме. Деформация проводилась двумя способами: либо в условиях внешнего нагрева образца (термопластическая деформация — ТПД), либо в условиях прохождения электрического тока через образец (электропластическая деформация — ЭПД), в двух режимах: с одновременной реализацией диффузии примесей индия и алюминия и без таковой. Температура деформации для ЭПД составляла 750°C , а для ТПД — 800°C ввиду того, что при более низких

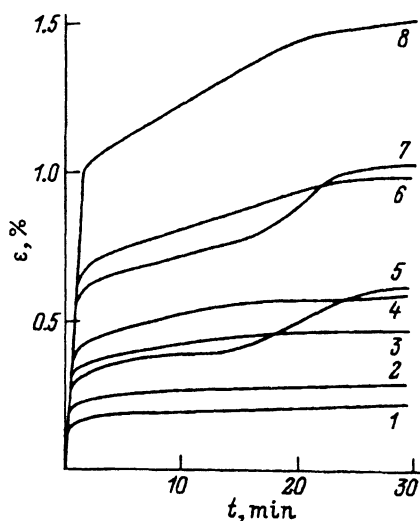


Рис. 1. Зависимость величины деформации от времени $\epsilon = f(t)$ для ЭПД-способа при температуре $T = 750^\circ\text{C}$ и различных напряжениях τ .
 τ (МПа): 1-3 — 3.9, 4-6 — 7.8, 7, 8 — 11.8.
 1, 5, 7 — без диффузии примеси, 3, 6, 8 — с диффузией индия, 2, 4 — с диффузией алюминия.

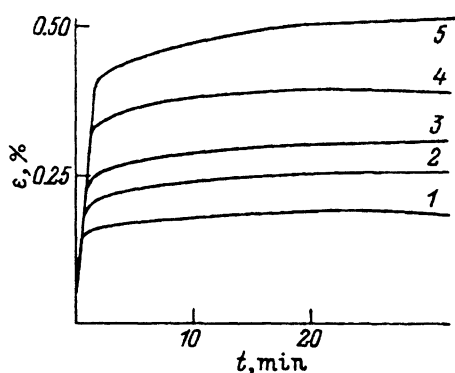


Рис. 2. Зависимость величины деформации от времени $\epsilon = f(t)$ для ТПД-способа при температуре $T = 800^\circ\text{C}$ и различных напряжениях τ .
 τ (МПа): 1, 2, 4 — 7.8, 3, 5 — 11.8. 1, 3 — без диффузии примеси, 2 — с диффузией алюминия, 4, 5 — с диффузией индия.

температурах кристалл практически не деформировался на заметную величину при использованных величинах напряжения и времени.

На рис. 1, 2 представлены характерные кривые зависимости величин деформации от времени для каждого из использованных режимов и способов деформации. Крутой линейный участок начала всех кривых характеризует пластическую деформацию кристаллов в процессе нагружения. Временной интервал этого участка задан скоростью возрастания и величиной нагрузки. Скорость для всех использованных режимов была одинаковой и составляла 0.033 kg/s . Наибольшая величина пластической деформации в процессе нагружения достигается при реализации одновременной диффузии примесных атомов индия и алюминия. После окончания режима нагружения и небольшого неуставившегося участка течения отмечается квазистационарный режим ползучести. Скорость пластической деформации в режиме ползучести одного порядка и составляет $\sim 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ для всех использованных режимов. Как видно из рис. 1, 2, одновременная с деформацией реализация диффузии акцепторных примесей алюминия и индия приводит к заметному эффекту пластификации. Наиболее эффективно влияние индия по сравнению с алюминием для ТПД-способа при малых, а для ЭПД-способа — при больших напряжениях. Все кривые на рис. 1, 2 сохраняют в разной степени наклон к оси абсцисс, что подтверждает незавершенность течения кристалла за время испытания. Отличительной особенностью ЭПД-способа (см. кривые 5, 7) является обнаружение новой стадии разупрочнения. Если сопоставить деформации с одновременным проведением легирования и без таковой, то для первого случая не наблюдаются снижение стартовых напряжений и увели-

чение абсолютной величины деформации по сравнению с режимом без диффузии. Сравнение ТПД- и ЭПД-способов привело к аналогичному результату [4]. Вышеотмеченные особенности деформации, проведенной с одновременной реализацией диффузии акцепторных примесей индия и алюминия в кристаллах *p*-кремния, объясняются, с нашей точки зрения, следующими факторами. Во-первых, по мере проникновения атомов примеси в глубь образца в нем возникают упругие напряжения, обусловленные разницей их атомных радиусов и достаточные для генерации дислокаций вблизи поверхности. Поверхность деформируемого образца начинает работать как источник дислокаций с диффузионной накачкой и успевает пополнять запас подвижных дислокаций взамен выбывших. Кроме того, наличие внешнего электрического поля увеличивает эффективную силу, действующую на дислокацию со стороны внешних механических напряжений [5,6]. Во-вторых, разупрочняющую роль совместного примесь-дислокационного воздействия можно связать с неоднородностью распределения дислокаций и наличием областей повышенного и пониженного электросопротивления, в результате чего происходит неоднородный локальный разогрев и наводятся связанные с этим термические напряжения, увеличивающие подвижность дислокаций. При этом меняется миграция примесей вдоль дислокационных трубок, что может изменять их распределение в окрестности дислокаций и воздействовать на динамику последних [7,8]. На основе вышеизложенного можно заключить, что выдвинутое ранее [4] предположение о специфике механизма действия электронной подсистемы на характеристические параметры решетки получило дополнительное подтверждение.

Список литературы

- [1] Т. Судзуки, Х. Есинага, С. Такеути. Динамика дислокаций и пластичность / Пер. с япон. М. (1989). 294 с.
- [2] В.В. Петухов, В.Я. Сухарев. ФТТ **23**, 4, 1093 (1981).
- [3] Л.С. Милевский, Ю.Н. Чувилин. ФТТ **20**, 11, 3265 (1978).
- [4] М.А. Алиев, Х.О. Алиева, В.В. Селезнев. ФТТ **37**, 12, 3732 (1995).
- [5] Г.А. Конторова. ФТТ **9**, 4, 1235 (1967).
- [6] Ю.В. Корнюшин. Явления переноса в реальных кристаллах во внешних полях. Киев (1986). 126 с.
- [7] Я.Е. Гегузин, В.П. Мацокин. УФЖ **25**, 4, 612 (1980).
- [8] Е.Е. Вдовин, А.Ю. Касумов. ФТТ **30**, 1, 312 (1988).