

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ

С. Х. Мильштейн, В. И. Никитенко

подавляющее большинство работ [1 – 3], посвященных изучению влияния дислокаций на электрические свойства полупроводников, выполнено на образцах с большой плотностью дислокаций ($10^5 - 10^8 \text{ см}^{-2}$). Наиболее распространенные методы измерения характеристик электронной подсистемы кристалла (эффект Холла, затухание фотопроводимости и т. д.) позволяют определять их усредненные изменения, обусловленные сложной дислокационной структурой. При таких исследованиях оказывается трудно выделить вклад какого-либо конкретного типа дислокаций.

В последние годы были предложены [4 – 6] методы изучения локальных изменений электрических свойств полупроводников под влиянием индивидуальных дислокаций. В настоящем сообщении приводятся результаты исследования характеристик микроконтакта металл – кремний в месте выхода на поверхность изолированной 60-градусной или винтовой дислокации, а также проводимости вдоль них. Известно, что эти типы дислокаций существенно отличаются по своему влиянию на энергетический спектр электронов полупроводника. Вокруг каждой из них существует своеобразное поле микронапряжений, которое приводит к изгибу энергетических зон, определяющемуся различными константами деформационного потенциала. Кроме того, в ядре 60-градусной дислокации имеется цепочка разорванных ненасыщенных связей, которые могут обусловить появление в запрещенной зоне дополнительных акцепторных уровней.

Исследования проводились на монокристаллах кремния, не содержащих ростовых дислокаций *n*-типа с удельным сопротивлением $\rho \sim 120 \text{ ом} \cdot \text{см}$ и *p*-типа ($\rho \sim 70 \text{ ом} \cdot \text{см}$). Методом [7, 8] четырехточечного изгиба при температуре 500°C в кристалл вводились единичные изолированные дислокации. В работе представлены измерения двух образцов Si *n*-типа,

один из которых содержал прямолинейные 60-градусные дислокации, выходящие концами на две противоположные грани (110) кристалла толщиной 2 мм, а второй – дислокационные полупетли, концы которых выходили на поверхность (100) и имели винтовую и 60-градусную ориентацию. Образцы устанавливались между двумя соосно выведенными микроскопами, позволявшими наблюдать постановку вольфрамовых микрозондов в ямки травления на дислокациях. Диаметр заостренного микрозонда 0,5 – 1 мк. Измерения проводились на свежетравленной поверхности.

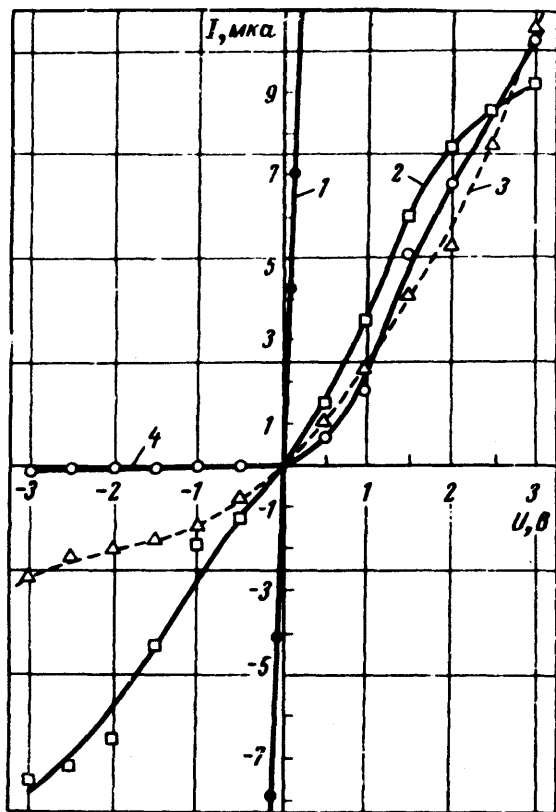


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики кристалла кремния *n*-типа с дислокациями, полученные при помощи вольфрамового микрозонда и сварного золотого контакта. Ток пропущен по объему кристалла: 1 – через пару золотых контактов, приваренных к бездислокационному участку образца ($Z_{об} - Z_{об}$); 2 – через зонд, установленный на бездислокационном участке поверхности и один из золотых контактов ($W_{об} - Z_{об}$); 3 – через зонд, установленный в ямке травления на винтовой дислокации и золотой контакт ($W_{дискл} - Z_{об}$); 4 – через зонд, установленный в ямке травления на 60-градусной дислокации и золотой контакт ($W_{дискл} - Z_{об}$)

Результаты, представленные на рис. 1, 2, дают возможность сопоставить вольт-амперные характеристики, снятые с помощью омического золотого контакта и вольфрамовых микрозондов, устанавливавшихся на бездислокационных участках поверхности и в местах выхода 60-градусных и винтовых дислокаций (рис. 1), либо только вольфрамовых микрозондов (рис. 2). Кривая 4 на рис. 1 свидетельствует о том, что в кремнии *n*-типа обнаруживается значительное выпрямление в контакте металл – полупроводник в месте выхода на поверхность 60-градусной дислокации: прямые и обратные токи характеристики отличаются в сто раз. Вольт-амперная характеристика (кривая 2, рис. 1) объема несколько нелинейна, симметрична, соответствующие токи велики и сравнимы по величине с прямыми токами дислокационного диода.

При пропускании тока вдоль 60-градусной дислокации с использованием двух вольфрамовых микрозондов наблюдается примерно симметричная характеристика (кривая 1, рис. 2). Величины прямых и обратных токов очень малы и соответствуют обратной ветви характеристики (кривая 2), снятой при постановке одного из зондов на бездислокационном участке поверхности. Из этого можно заключить, что величина тока, пропускаемого вдоль 60-градусной дислокации, определяется действием двух приповерхностных диодов, включенных навстречу друг другу.

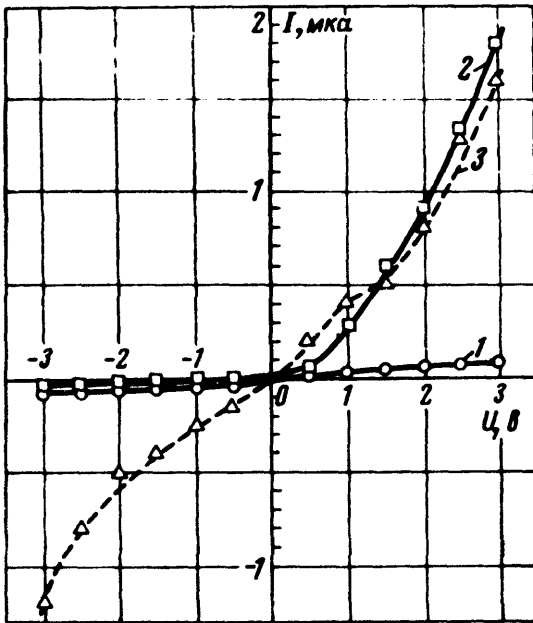


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики кристалла кремния *n*-типа с дислокациями, снятые при помощи двух вольфрамовых микрозондов. Ток пропущен: 1 — вдоль 60-градусной дислокации микрозонды, установленные в ямках травления на противоположных концах дислокации; 2 — через микрозонды, расположенные в ямке травления на 60-градусной дислокации и на бездислокационном участке кристалла; 3 — по объему кристалла через зонды, помещенные на бездислокационных участках поверхности

Причина наблюдаемого эффекта может быть связана с тем, что 60-градусная дислокация сама заряжена за счет заполнения связанных с ней акцепторных уровней и, кроме того, вызывает перераспределение заряда поверхностных состояний, что обуславливает запирающий загиб зон, приводящий к появлению локального запирающего (или инверсного) слоя у поверхности образца. Следует подчеркнуть, что в описываемом случае проявляются процессы, протекающие не в объеме кристалла (как при исследованиях изменений микрохарактеристик электрических свойств полупроводника под влиянием дислокаций), а в поверхностном слое. Это и определяет вид характеристики (кривая 2, рис. 2).

В исследованиях, проведенных на винтовых дислокациях в *n*-Si (кривая 3, рис. 1), а также на обоих типах дислокаций в *p*-Si не обнаружилось значительного изменения характеристик микроконтакта металл полупроводник под влиянием дислокаций. В последнем случае и на бездислокационной поверхности контакт был сильно выпрямляющим. Такая же ситуация была и в первом исследовании [4] диодных свойств дислокаций в *n*-Ge, для которого обратные токи на вольт-амперных характеристиках контакта, установленного как на бездислокационной поверхности, так и в ямках травления на краевых и винтовых дислокациях совпадали.

Авторы выражают глубокую благодарность В.Л.Инденбому, Ю.А.Осипьяну, В.Л.Покровскому и Э.И.Рашба за обсуждение результатов работы, а также А.Г.Полищук за приготовление образцов.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 февраля 1971 г.

Литература

- [1] А.А.Гиппиус, Л.И.Колесник. Сб. Дислокации и физические свойства полупроводников. Л., Изд. Наука, 1967, стр. 66
 - [2] J.Krylow, J.Aulaytner. Phys. stat. sol., 32, 581, 589, 1969.
 - [3] W.Schröter, R.Labusch. Phys. stat. sol., 36, 539, 1969.
 - [4] F.Calsecchi, P.Gondi, F.Schintu. Nuovo Cim. B58, 376, 1968.
 - [5] J.Lagowski. Phys. stat. sol., 5, 555, 1964.
 - [6] Н.Е.Матаре, С.В.Лааксо. Appl. Phys. Lett. 13, 216, 1968.
 - [7] В.И.Никитенко, В.Н.Ерофеев, Н.М.Надгорная. Сб.Динамика дислокаций. Харьков, ФТИНТ АН УССР, 1968, стр. 84.
 - [8] В.И.Никитенко, А.А.Полянский. Сб.Материалы Всесоюзного совещания по дефектам структуры в полупроводниках. Новосибирск, ИФП СО АН СССР, 1969, стр. 282.
-