

## АНОМАЛЬНАЯ АНИЗОТРОПИЯ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОМ КРЕМНИИ С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ДИСЛОКАЦИЙ

*В.Г.Еременко, В.И.Никитенко, Е.Б.Якимов*

Обнаружен новый механизм формирования анизотропии электропроводности полупроводников, обусловленный изменением состояния примеси в объеме кристалла, прилегающем к части плоскости скольжения обметенной дислокацией в процессе пластического деформирования.

В исследованиях [1, 2] пластически деформированных монокристаллов кремния были выявлены специфические следы за двигавшимися дислокациями. В просвечивающем электронном микроскопе на поверхности сильно легированного кремния, пересекаемой дислокационной линией, они имели вид темных треков из микровыделений новой фазы. Она образовалась в результате того, что дислокация, перемещаясь по кристаллу, стягивает на себя из окружающего пространства примеси, которые канальной диффузией выносятся на поверхность, где под окисной пленкой создаются благоприятные условия для протекания фазового превращения.

Избирательное химическое травление также выявляет следы вдоль плоскостей скольжения за дислокационными ямками травления (рис.1). Причем, как показали исследования, в этом случае травления неоднородности кристалла в участках, обметенных дислокацией, обнаруживаются не только на внешней поверхности образца. При последовательном сполировывании кристалла травлением выявлялись следы на всех плоскостях, пересекавших дислокационную линию и залегавших на любой глубине под поверхностью исходного деформированного образца. Это говорит о том, что не только ядро дислокации и его ближайшее окружение, но и вся плоскость, обметенная дислокационной линией, вызывает настолько сильное изменение химического потенциала, что является избирательным травлением. В этом эксперименте плоскость скольжения выступает в новой роли двумерного дефекта, состоящего из совокупности точечных дефектов: электронная микроскопия не выявляет позади двигавшихся дислокаций ни малых дислокационных петель, ни дефектов упаковки. Эти точечные дефекты представляют собой комплексы на основе примесных атомов, поскольку одни лишь вакансии и межузельные собственные атомы никак не в состоянии образовать упорядоченную двумерную устойчивую систему, не распадающуюся даже в процессе многочасового прогрева при температурах до 600°C. Такие комплексы могут формироваться в результате того, что в реальном кристалле движущаяся дислокация, стимулируя диффузию, увеличивает эффективную концентрацию примесей в локальных участках вдоль плоскости скольжения, а процесс разрыва и перестроения атомных связей при движении дислокации облегчает протекание химических реакций с образованием новых устойчивых соединений из атомов примесей и основного вещества.

Этот до сих пор не учитывавшийся эффект также может определять необычное изменение физических свойств кристалла при пластическом деформировании, например, его электропроводность. Применяя описанные в [3] специальные приемы пластического деформирования, мы вводили в кристалл кремния при  $600 - 650^\circ\text{C}$  прямолинейные параллельные хаотически расположенные  $60^\circ$ -ные дислокации. Из него вырезались образцы, в которых сдвигообразование протекало практически только по одной системе скольжения, что легко контролировалось по картине травления (рис. 1). Затем определялась температурная зависимость концентрации  $n$ -электронов и их подвижности  $\mu$  при движении вдоль и перпендикулярно действовавшей плоскости скольжения. Измерение электропроводности осуществлялось по методу [4].

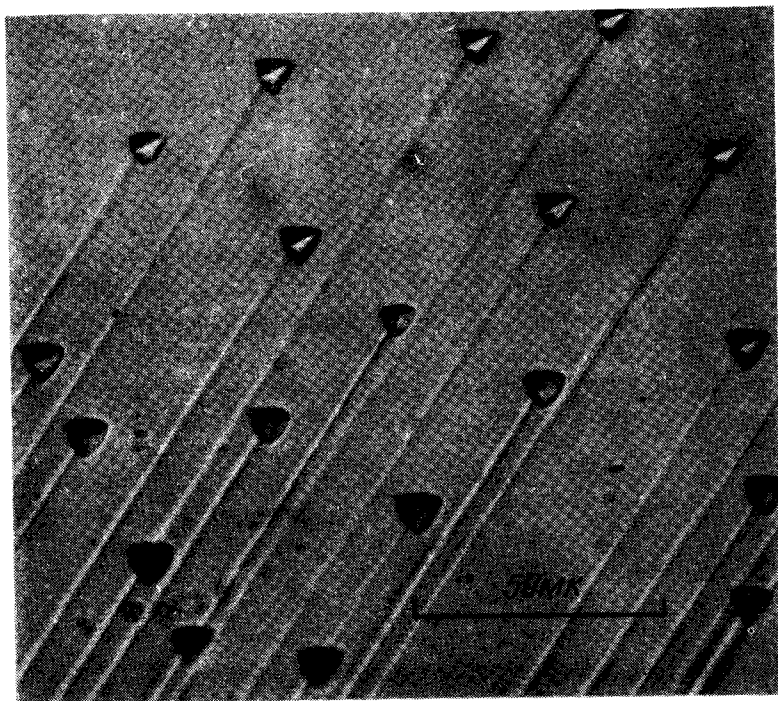


Рис. 1. Избирательное химическое травление поверхности Si. Видны ямки травления на дислокациях и следы вдоль плоскостей скольжения

На рис. 2 представлены полученные результаты для одного из образцов. Кристалл пластически деформировался в течение 5 часов при  $620^\circ\text{C}$  до относительно низкой плотности дислокаций ( $N_{\text{д}} = 3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$ ), при которой известные [5] механизмы влияния дислокаций на  $n$  и  $\mu$  не должны были определять сколько-нибудь значительных эффектов. Действительно концентрация электронов в этом образце после пластической

деформации практически не отличалась от исходного значения ( $n_0 = 4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ), что согласуется с результатами [6]. Значения подвижности носителей заряда в случае, когда линии тока были направлены вдоль дислокационных линий или перпендикулярно им, но параллельно плоскости скольжения (рис. 2, кривые 1, 2), также практически не отличались от подвижности в исходном кристалле. Однако в том случае, когда линии тока были перпендикулярны действовавшей плоскости скольжения дислокаций (III), обнаруживалось слишком высокое рассеивание носителей заряда, обуславливавшее аномально низкие значения  $\mu$  (рис. 2, кривая 3). Величина эффекта зависела от температуры термообработки и примесного состава кристалла. Аномалия исчезала при превышении температуры деформирования  $700^\circ\text{C}$ . Эффект не наблюдался и на образцах  $n\text{-Si}$ , полученных при использовании гарнисажной плавки, в которых содержание кислорода и других неконтролируемых примесей было значительно ниже, чем в описанных кристаллах, выращенных обычным методом Чохральского.

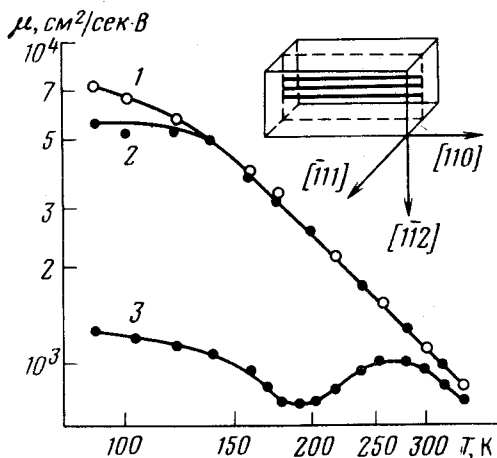


Рис. 2. Температурная зависимость подвижности электронов в пластически деформированном Si. Линии тока направлены перпендикулярно (3) плоскости скольжения и параллельно ей (1, 2 — соответственно вдоль и поперек дислокаций). В верхнем углу показана схема образца и положения дислокаций и действовавшей плоскости скольжения

Итак, представленные исследования убедительно свидетельствуют о том, что движение дислокаций может приводить к формированию устойчивой совокупности точечных дефектов, расположенных вдоль плоскости скольжения, которые решающим образом могут определять изменения физических свойств кристаллов.

Авторы благодарят Н.А.Ярыкина за помощь в экспериментах.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
2 июня 1977 г.

### Литература

- [1] В.Н.Ерофеев, В.И.Никитенко, В.И.Половинкина, Э.В.Суворов. Кристаллография, 16, 190, 1970.  
[2] И.Е.Бондаренко, В.Г.Еременко, В.И.Никитенко. ДАН СССР, 229, 1087, 1976.

- [ 3 ] В.И.Никитенко, А.А.Полянский. Материалы Всесоюзного совещания по дефектам структуры в полупроводниках. Новосибирск, 1969 г., стр. 382.
- [ 4 ] Н.С. Montgomery, J. Appl. Phys., 42, 2971, 1971.
- [ 5 ] Г.Матаре . Электроника дефектов в полупроводниках. М., изд. Мир, 1974.
- [ 6 ] В.Г.Еременко, В.И.Никитенко, Е.Б.Якимов. ЖЭТФ, 67, 1148, 1974.
-