

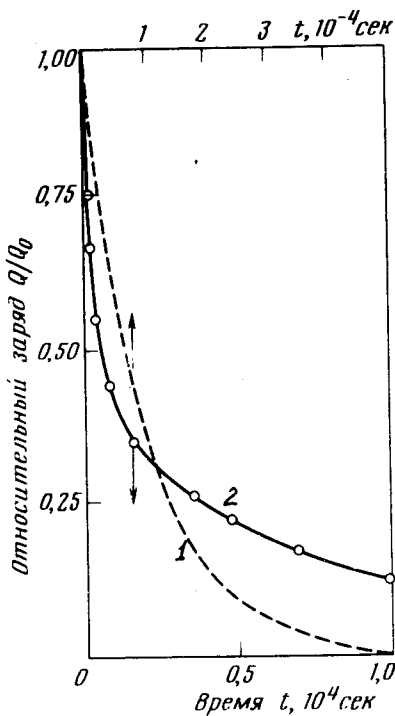
ФОТОЭЛЕКТРЕТНЫЙ ЭФФЕКТ НА ДИСЛОКАЦИЯХ В КРЕМНИИ

В.И. Никитенко, Е.Б. Якимов, Н.А. Ярыкин

Обнаружено, что дислокации, введенные в монокристаллы кремния при их пластическом деформировании, на 14 порядков увеличивают время релаксации пространственно неоднородного распределения зарядов, сформировавшегося в освещенном образце под влиянием внешнего электрического поля.

Влияние дислокаций на образование в электрическом поле поляризованного состояния неметаллических обогащенных при освещении неравновесными носителями заряда кристаллов, так же как и на их деполяризацию после выключения света и поля, еще никем не изучалось. Между тем, такие исследования представляют фундаментальный интерес не только потому, что перенос заряда по одномерной дислокационной зоне [1] может обусловить дополнительный до сих пор не учитывавшийся способ деполяризации образца и значительное изменение харак-

теристик фотоэлектрического состояния, лежащего в основе ценных технических применений [2, 3]. Поле упругих микронапряжений и разорванные ковалентные связи в ядре дислокации обуславливают появление в запрещенной зоне кристалла как системы одномерных зон, так и уровней [4, 5]. Часть из них может быть связана с особыми участками на дислокационных линиях (перегибами, порогами и т. д.) и точечными дефектами, выделившимися на дислокации и изменившими ее и свою электронную структуру [6]. Каковы параметры и природа локальных центров, каковы характеристики одномерных зон и закономерности специфической проводимости по ним? Традиционно применявшиеся для исследования кристаллов с дислокациями методы [7] не позволяют [8] ответить на эти вопросы, что стимулирует активный поиск новых [1, 9, 10]. Бесконтактные методы исследования фотоэлектрического эффекта в материалах с чрезвычайно низкой проводимостью, возможность получения широкого спектра характеристик каждого из определяющих его центров, могут открыть перспективы для решения важнейших задач анализа природы электрической активности дислокаций в полупроводниках.



Релаксация внутренней поляризации в исходном (1) и пластически деформированном (2) образцах кремния. Q_0 — заряд, протекший в цепи электродов в процессе фотополяризации образца

В настоящей работе обнаружена возможность создания фотоэлектрического состояния в монокристалле кремния за счет дислокаций, введенных при пластическом деформировании. Исходные образцы были легированы фосфором до концентрации $4 \cdot 10^{13}$ см $^{-3}$. Исследования фотоэлектрического эффекта проводились в вакуумном криостате при 90К. Образцы толщиной 0,4 мм устанавливались между полупрозрачными электродами, к которым прикладывалось напряжение 300 В. Для устра-

нения эффектов инжекции, экстракции и т. п. между образцом и электродами помещались изолирующие прокладки из слюды толщиной 20 — 30 мк. Измерительная система позволяла регистрировать как полный заряд, так и ток протекающий в цепи электродов при включении и выключении света и электрического поля.

Электрическое поле разделяет рожденные светом (а также равновесные) носители заряда, и области кристалла вблизи электродов обогащаются носителями противоположного знака. В исходных образцах, также как и в контрольных бездислокационных, прошедших ту же термообработку, что и деформированные, это пространственно неоднородное распределение заряда после выключения поля быстро релаксировало за время $\tau_{исх} \sim 10^{-4}$ сек (кривая 1). Это время определялось в основном релаксацией измерительной системы, поскольку, как показывают оценки, для исходного образца максвелловское время релаксации существенно меньше ($\tau_M = \epsilon / 4\pi\sigma \approx 10^{-10}$ сек).

Введенные в процессе пластического деформирования при 650°C дислокации на много порядков увеличивали время релаксации пространственно неоднородного распределения заряда в кристалле. Например, в образце с плотностью дислокаций $\sim 10^9$ см⁻² уменьшение заряда вдвое после выключения света и поля происходило за времена $t \sim 10^3$ сек, т. е. формировалось фотоэлектрическое состояние (кривая 2). В пластически деформированном кремнии оно обусловлено захватом носителей заряда в приконтактных областях на дислокационные центры. В образцах с плотностью дислокаций, превышающей 10^7 см⁻², таких центров было достаточно, чтобы связать весь избыточный заряд. Измеренная методом фотодеполяризации [2, 3] величина этого фотоэлектрического заряда составляла $3 - 5 \cdot 10^{-9}$ кулон/см². При снижении плотности дислокаций его величина уменьшалась. Темновой спад фотоэлектрического заряда для $t \gg 10^3$ сек происходил по закону $Q \sim \exp(-t/\tau_{деф})$, где $\tau_{деф} \approx 10^4$ сек. Если приравнять это значение максвелловскому времени релаксации, то для электропроводности пластически деформированного кремния получим $\sigma \approx 10^{-16}$ (ом·см)⁻¹. Процесс темнового разряда в деформированных кристаллах наряду с обычно рассматриваемыми механизмами, например, термическим освобождением связанного заряда [2, 3], может определяться и проводимостью по дислокациям. Дальнейшие исследования анизотропии эффекта на образцах с параллельными однотипными дислокациями, спектральной зависимости токов поляризации и депольризации в широком интервале температур позволят выяснить механизмы, определяющие разрушение фотополяризации, вклад в этот процесс проводимости по дислокациям и природу дислокационных центров, определяющих фотоэлектрический эффект в кремнии.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 сентября 1978 г.

Литература

- [1] В.А.Гражулис, В.В.Кведер, В.Ю.Мухина, Ю.А.Осипьян. Письма в ЖЭТФ, 24, 164, 1976.

- [2] В.М.Фридкин. Физические основы электрофотографического процесса, М. —Л. изд. Энергия, 1966.
- [3] П.Н.Ковальский, А.Д.Шнейдер. Фотоэлектрический эффект в полупроводниках, "Вища школа", Львов, 1977.
- [4] W.Read. Phil. Mag., 45, 775, 1954.
- [5] В.Л.Бонч-Бруевич, В.Б.Гласко. ФТТ, 3, 36, 1961.
- [6] В.Г.Еременко, В.И.Никитенко, Е.Б.Якимов. ЖЭТФ, 73, 1129, 1977.
- [7] У.Бардсли. УФН, 73, 121, 1961.
- [8] T.Figielski, A.Morawski. Phys. Stat. Sol (a), 6, 617, 1971.
- [9] S.Mantovani, U.del Pennino. Phys. Stat. Sol (a), 30, 747, 1975.
- [10] В.Г.Еременко, В.И.Никитенко, Е.Б.Якимов. ЖЭТФ, 69, 990, 1975.
-