

К механизму остаточного фотомеханического эффекта

© А.Б. Герасимов, Г.Д. Чирадзе, Н.Г. Кутивадзе, А.П. Бибилашвили, З.Г. Бохочадзе

Тбилисский государственный университет,
280028 Тбилиси, Грузия
Кутаисский государственный университет,
384000 Кутаиси, Грузия

(Поступила в окончательном виде 13 сентября 1999 г.)

Приведены результаты исследования остаточного фотомагнитного эффекта (ФМЭ) при разных температурах методом микроиндентирования образца после выключения света в монокристаллическом *n*-Si. Показано, что уменьшение величины остаточного ФМЭ имеет экспоненциальный характер в зависимости как от времени, так и от температуры.

В работе [1] сообщалось, что при исследовании фотомеханического эффекта (ФМЭ) [2] (влияние света на микротвердость (МТ)) Si значение величины отпечатков зависело от времени, в течение которого после выключения света образец находился под нагрузкой. В частности, чем позже поднимался индентор, тем больше была величина отпечатка, и после определенного времени она сравнивалась со значением, которое получалось при измерении МТ в темноте. Для объяснения этого эффекта был предложен механизм, суть которого вкратце состоит в следующем [1]. После прекращения освещения в кристалле происходит быстрая рекомбинация неравновесных носителей тока, но часть этих носителей в приповерхностном слое остается в разделенных пространственно соответствующих минимумах, образованных из-за неоднородного искривления энергетических зон в этом слое Si (рис. 1, *b* работы [1]). Рекомбинация таких носителей может произойти после преодоления соответствующего барьера, т.е. активационным путем. Именно поэтому после прекращения освещения поверхностный слой кристалла сохраняет размягчение в течение определенного времени (остаточный ФМЭ). Как было показано [1,3,4], за размягчение кристалла ответственны неравновесные электроны и дырки, названные антисвязывающими квазичастицами.

Из приведенных выше соображений относительно физической природы остаточного ФМЭ следует, что с повышением температуры образца экспоненциально должна уменьшаться как величина остаточного ФМЭ, так и время его существования из-за увеличения скорости выброса электронов и дырок из соответствующих минимумов, и тем самым увеличения темпа их рекомбинации. Поэтому представляло интерес исследовать данный эффект при разных температурах.

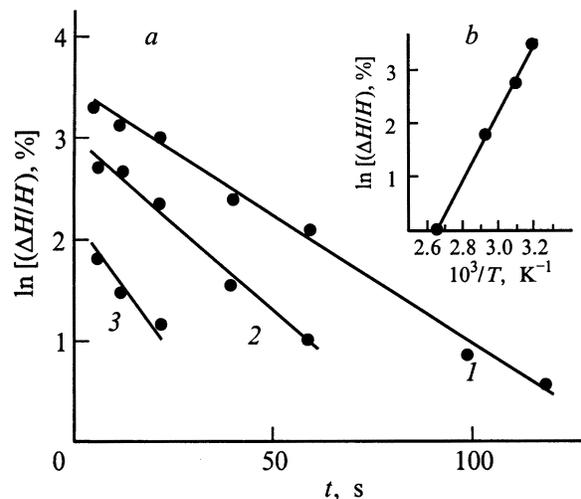
В настоящем сообщении приводятся результаты исследований остаточного ФМЭ при разных температурах методом микроиндентирования образца после выключения света.

Эксперименты проводились на (100)-грани бездислокационного монокристаллического Si *n*-типа проводимости с удельным сопротивлением 200 Ω·см. Поверхности исследуемых образцов шлифовались и полировались механически, затем проходили химическую очистку и после

этого травились в смеси H₂SO₄ + H₂O₂ в соотношении 4 : 1 при температуре 40°C в течение 30 s. Методика измерения МТ в темноте и при освещении описана в работе [1]. Нагрузка выбиралась равной 25 g, во всех измерениях большая диагональ используемой пирамиды Кнупа всегда совпадала с направлением ⟨100⟩ в исследуемой (100)-плоскости для учета анизотропии [5].

Эксперимент проводился следующим образом. Вначале производилось освещение поверхности исследуемого образца в течение 10 s (которое полностью обеспечивало выход на насыщение значения остаточного светового МТ), после выключения освещения через определенные промежутки времени производилось нанесение отпечатков. Эти эксперименты повторялись при разных температурах исследуемого образца.

Из рисунка видно, что уменьшение величины остаточного ФМЭ имеет экспоненциальный характер в зависимости как от времени (*a*), так и от температуры (*b*). Для удобства графического представления изменение остаточного ФМЭ приводится в относительных единицах $\Delta H/H$ (где $\Delta H = H - H_i$, H — значение темновой МТ при данной температуре, а H_i — значений оста-



Временные (*a*) при температуре 298 (1), 325 (2), 348 К (3) и температурная (*b*) зависимости остаточного ФМЭ. Индентирование начиналось в момент выключения освещения.

точной световой МТ, соответствующее определенному i -му моменту времени после прекращения освещения при той же температуре). Оказалось, что максимальное время, в течение которого в наших экспериментах можно было определить величину остаточного ФМЭ, также экспоненциально зависит от температуры.

Для оценки средней величины барьера, преодоление которого необходимо для рекомбинации носителей в приповерхностном слое, можно воспользоваться известным выражением [6] для времени жизни: $\tau = \tau_0 \exp(\Delta/kT)$ (где Δ — значение высоты барьера, τ_0 — время жизни в объеме, k — постоянная Больцмана, T — температура). Основываясь на установленной корреляции между величиной ФМЭ и соответствующей концентрацией антисвязывающих квазичастиц [1], естественно полагать, что, чем больше τ , тем больше будет величина остаточного ФМЭ, т.е. $\Delta H/H \sim \tau$. Тогда $\Delta H/H \sim \exp(\Delta/kT)$, и можно записать простое соотношение: $\Delta H/H = \alpha \exp(\Delta/kT)$ (где α — коэффициент, который в исследуемом интервале времен и температур можно считать постоянным). С целью определения Δ последнее уравнение удобно представить в следующем виде: $\ln(\Delta H/h) = \ln \alpha + (\Delta/k)(1/T)$. Оцененная с помощью графика этого выражения величина Δ оказалась равной 0.3 eV.

Следует отметить, что оцененное в настоящей работе значение Δ носит иллюстративный характер, поскольку относится только к используемым нами образцам с соответствующей обработкой поверхности и не является физическим параметром для исследуемого материала, так как сама величина МТ во многом определяется условиями эксперимента [7].

Список литературы

- [1] А.Б. Герасимов, Г.Д. Чирадзе, Н.Г. Кутивадзе, А.П. Бибилашвили, З.Г. Бохочадзе. ФТТ **40**, 3, 503 (1998).
- [2] G.K. Kuczynski, R.H. Noehman. Phys. Rev. **108**, 946 (1957).
- [3] И.Г. Гвердцители, А.Б. Герасимов, З.В. Джибути, М.Г. Пхакадзе. Поверхность **11**, 132 (1985).
- [4] A.V. Gerasimov. Proc. 4th Int. Conf. Materials Science Forum Vols. N. Y. Vol. 65–66. (1990). P. 47.
- [5] П.Д. Уорен, С.Г. Робертс, П.Б. Хирш. Изв. АН СССР. Сер. физ. **51**, 4, 812 (1987).
- [6] В.И. Фистуль. Введение в физику полупроводников. Высш. шк., М. (1984). С. 267.
- [7] В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович. Микротвердость металлов и полупроводников. Металлургия, М. (1969). С. 248.