

Влияние концентрации основных носителей тока и интенсивности облучения на эффективность введения радиационных дефектов в кристаллах *n*-Si

© Т.А. Пагава, З.В. Башелейшвили

Технический университет,
380075 Тбилиси, Грузия

(Получена 3 июля 2001 г. Принята к печати 7 марта 2002 г.)

Исследовалось влияние концентрации основных носителей тока (n) и плотности потока электронов (φ) на эффективность введения радиационных дефектов (η) в образцах *n*-Si. Показано, что зависимость $\eta(\varphi)$ имеет максимум, который с увеличением n смещается в сторону больших значений φ . Наблюдаемый эффект объясняется существованием оптимального соотношения между концентрациями первичных радиационных дефектов, образующихся в единицу времени, и заряжающих их свободных носителей тока.

Экспериментальные исследования показали, что интенсивность облучения электронами (φ) влияет на эффективность введения (η) радиационных дефектов (РД), хотя имеются некоторые противоречия [1–4].

В работе [5] исследована зависимость эффективности введения *A*-центров $\eta_A(\varphi)$ в образцах *n*-Si с удельным сопротивлением $\rho = 60 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, при облучении электронами с энергией 2.2 МэВ. Авторы обнаружили, что существует критическое значение φ_c , отделяющее область, в которой такая зависимость имеется, от области, где η_A не зависит от φ ($\varphi_c = 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$). Предварительное облучение образцов протонами с целью увеличения числа макроскопических дефектов в кристаллах уменьшало φ_c до $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; после предварительной пластической деформации φ_c увеличивалось до $10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Обнаруженный эффект авторы объясняют рекомбинацией компонентов пар Френкеля на дефектах кристаллической решетки. Аналогичное уменьшение эффективности введения *E*-центров (η_E) при $\varphi_c = 5 \cdot 10^{12} - 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ наблюдалось в работе [6].

В работе [7] исследовались образцы кремния *n*- и *p*-типа проводимости с одинаковой концентрацией свободных носителей тока — $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. В работе показано, что зависимость $\eta(\varphi)$ имеет максимум в точке $\varphi_c = 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ в кристаллах обоих типов. Приложение электрического поля к образцам в процессе облучения не изменяет значение φ_c , а зависимость $\eta(\varphi)$ смещается в сторону больших значений η только в *n*-Si, что объясняется различием зарядового состояния первичных РД в кристаллах *n*- и *p*-типа проводимости.

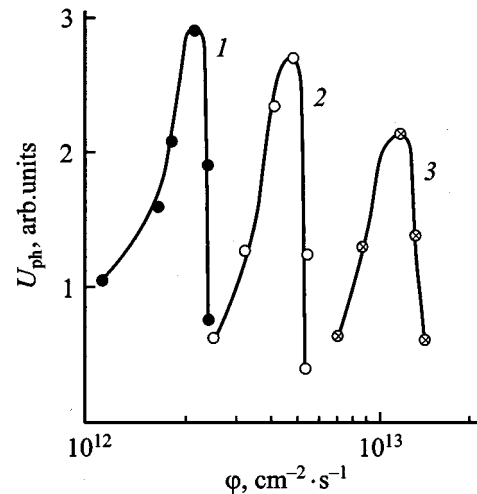
В настоящей работе исследовались образцы кремния *n*-типа проводимости, легированные фосфором с различной концентрацией — $n_1 = 10^{13}$, $n_2 = 6 \cdot 10^{13}$ и $n_3 = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, полученные методом зонной плавки, с содержанием кислорода $\sim 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Образцы облучались электронами с энергией 2 МэВ при комнатной температуре.

Исследования проводились методом локального облучения с последующим измерением объемной фото-

эдс (U_{ph}) вдоль облученной части образца. Этот метод детально описан в работах [8,9].

Как известно, $U_{ph} \propto \partial\rho/\partial x$. Исследуемые образцы облучались при фиксированной дозе $\Phi = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, поэтому $U_{ph} \propto \eta$. Измерения проводились при комнатной температуре в области истощения *A*-центров, и поэтому высота потенциального барьера между облученной и необлученной частями образца определяется изменением концентрации более глубоких акцепторных центров (*E*-центров и дивакансий V_2).

Проведенные исследования показали, что, в отличие от *A*-центров [5], зависимости $U_{ph}(\varphi)$, т.е. зависимости от φ эффективности введения *E*-центров и V_2 — $\eta_{E,V_2}(\varphi)$, в определенном интервале φ имеют максимумы, которые с увеличением n смещаются в сторону больших значений φ . В кристаллах с концентрациями n_1 , n_2 и n_3 $\varphi_c = 2 \cdot 10^{12}$, $5 \cdot 10^{12}$ и $10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ соответственно (см. рисунок). Если предположить, что электрон с энергией



Зависимость объемной фотоэдс U_{ph} от плотности потока электронов φ в локально облученных образцах кремния *n*-типа проводимости. Концентрация электронов n , см^{-3} : 1 — 10^{13} , 2 — $6 \cdot 10^{13}$, 3 — $2 \cdot 10^{14}$. Энергия электронов $E = 2 \text{ МэВ}$; доза облучения $\Phi = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

2 МэВ в кристалле n -Si образует одну пару Френкеля, тогда соотношение n/N_V (где N_V — концентрация вакансий, образующихся в единицу времени) для кристаллов с концентрациями n_1 , n_2 и n_3 равняется 5, 12 и 20 соответственно.

Наличие максимума на кривой $\eta(\varphi)$ в кристаллах n -Si и смещение его относительно оси φ в зависимости от n позволяет предположить, что существует оптимальное соотношение между концентрациями первичных РД, образующихся в единицу времени, и заряжающих их свободных носителей тока.

Список литературы

- [1] J.W. Corbett, G.D. Watkins. Phys. Rev., **138**, 555 (1965).
- [2] Дж. Блекмор. *Статистика электронов в полупроводниках* (М., 1969).
- [3] В.И. Кожевников, В.В. Михневич. ФТП, **15**, 1598 (1981).
- [4] П.Ф. Лугаков, В.В. Лукьяница. ФТП, **18**, 345 (1984).
- [5] А.А. Золотухин, А.К. Коваленко, Т.М. Мещерякова, Л.С. Милевский, Т.А. Пагава. ФТП, **9**, 1201 (1975).
- [6] А.А. Золотухин. Автореф. канд. дис. (М., ИМЕТ АН СССР, 1972).
- [7] Т.А. Пагава, З.В. Башелейшвили. ФТП, **33**, 542 (1999).
- [8] Л.С. Милевский, В.С. Гарнык. ФТП, **13**, 1369 (1979).
- [9] G. Tsintsadze, T. Pagava, V. Garnic, Z. Basheleishvili. Bull. Georgian Acad. Sci., **160** (3), 450 (1999).

Редактор Л.В. Шаронова

Impact of major carrier concentration and irradiation intensity on efficiency of introduction of radiation defects in n -Si crystals

T. Pagava, Z. Basheleishvili

Technical University,
380075 Tbilisi, Georgia

Abstract The effect of the free electron concentration (n) and the electron flux density (φ) on formation of radiation defects in n -type silicon samples is investigated. It is supposed that an optimum correlation exists between the quantity of primary radiation defects and the amount of free electrons charging them. This results in maximum observed on the $\eta(\varphi)$ curve, localization of which (along the φ axis) depends on the free electron concentration.