

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ТЕРМООБРАБОТОК НА ПРОЦЕССЫ РАДИАЦИОННОГО ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В КРИСТАЛЛАХ p-Si

И.Ф. Медведева¹⁾, В.П. Маркевич²⁾, Е.А. Фадеева³⁾, Д.А. Огородников³⁾

¹⁾Белорусский государственный медицинский университет,

пр. Дзержинского 83, Минск 220016, Беларусь, medvedeva@physics.by

²⁾Университет г. Манчестер, M13 9PL Манчестер, Англия, V.Markevich@manchester.ac.uk

³⁾ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», П. Бровки 19, Минск 220072, Беларусь,
fadzeyeva@physics.by, ogorodnikov@physics.by

Изучены особенности формирования и отжига радиационных дефектов (РД) в кристаллах p-Cz-Si, прошедших предварительную термообработку (ПТО) при 600 °С в течение 30 мин и облученных электронами ($E = 4$ МэВ) при комнатной температуре. Установлено, что ПТО не оказывает заметного влияния на тип и скорость введения основных РД. Однако при изохронном отжиге предварительно термообработанных образцов в интервале температур 150-250 °С наблюдается эффективное образование нового электрически активного центра с уровнем, расположенным у $E_V + 0.19$ эВ. Предполагается, что эффект ПТО связан с активацией быстродиффундирующих примесей переходных металлов (Cu, Ni) и их взаимодействием с радиационными дефектами.

Ключевые слова: кремний; термообработка; радиационное дефектообразование.

INFLUENCE OF PRELIMINARY HEAT TREATMENTS ON PROCESSES OF RADIATION-INDUCED DEFECT FORMATION IN p-Si CRYSTALS

I.F. Medvedeva¹⁾, V.P. Markevich²⁾, E.A. Fadeeva³⁾, D.A. Aharodnikau³⁾

¹⁾Belarusian State Medical University,

83 Dzerzhinski Ave., 220116 Minsk, Belarus, medvedeva@physics.by

²⁾The University of Manchester, Manchester M13 9PL, United Kingdom,
V.Markevich@manchester.ac.uk

³⁾Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus,
19 P. Brovki Str., 220072 Minsk, fadzeyeva@physics.by, ogorodnikov@physics.by

The formation and annealing of radiation induced defects (RDs) have been studied by means of Hall effect measurements in p-type Cz-Si crystals, which were subjected to preliminary heat-treatments at 600 °C for 30 min and irradiation with electrons ($E = 4$ MeV) at room temperature. It is found that such pre-heat-treatments (PHT) do not affect noticeably the type and introduction rates of the main RDs. However, upon isochronal annealing of the pre-heat-treated samples in the temperature range 150-250 °C an efficient formation of a new electrically active center with the level located at $E_V + 0.19$ eV has been observed. It is suggested that the PHT effect is associated with an activation of fast-diffusing transition metal impurities (Cu or Ni) and their interaction with radiation-induced defects.

Keyword: silicon; heat treatment; radiation defect formation.

Введение

Изготовление полупроводниковых приборов на основе кремния сопряжено с проведением ряда технологических операций при повышенных температурах. Это неизбежно сопровождается введением в базовые монокристаллы термодфектов

(ТД) [1], которые могут оказывать существенное влияние на процессы радиационного дефектообразования. Установлено [2-4], что предварительные высокотемпературные (500-800 °С) обработки (ПТО) кристаллов p-Si практически не влияют на энергетический спектр и эффективность

введения основных радиационных центров. Существенные изменения в поведении радиационных дефектов (РД) наблюдались при отжигах термообработанных кристаллов. В таких кристаллах имело место значительное снижение температуры отжига основных РД (комплексов вакансия-кислород или А-центров), которое сопровождалось образованием в сравнимых концентрациях глубоких компенсирующих центров (ГКЦ). Акцепторный уровень образующихся ГКЦ расположен у середины (глубже, чем $E_c - 0.50$ эВ), или в нижней половине запрещенной зоны [2,3]. Было предположено, что эффект ПТО связан с взаимодействием подвижных ТД с РД [2-4]. Установить природу дефектов, взаимодействующих с РД при образовании ГКЦ, пока не удалось. Природа ГКЦ также не установлена. Поскольку акцепторный уровень ГКЦ может располагаться в нижней половине запрещенной зоны, возникает необходимость исследования особенностей образования и отжига РД в кристаллах p-Si, прошедших ПТО.

Материалы и методы исследования

Исследовались кристаллы p-Si ($N_B = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$), полученные методом Чохральского (Cz-Si). Содержание кислорода и углерода по данным оптических измерений составляло: $N_O = 1.15 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $N_C \leq 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. ПТО при температуре 600 °C проводились на воздухе в течение 30 минут. Охлаждение образцов осуществлялось путем их закалки в изопропиловый спирт. Исследуемые образцы облучались быстрыми электронами ($E = 4 \text{ МэВ}$) при 0 °C, $\Phi = 3.0 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Изохронные отжики длительностью 30 минут проводились в интервале температур 50 - 400 °C на воздухе. Концентрация центров определялась из анализа температурных (77-400 К) зависимостей постоянной Холла.

Результаты и их обсуждение

Исследуемые кристаллы p-Cz-Si содержали кислородные термодоноры ($\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$), образовавшиеся в процессе охла-

ждения выращенных слитков. Термообработки при $T = 600$ °C приводили к отжигу термодоноров, и восстановлению проводимости p-типа в исследуемых кристаллах. Последующие облучения кристаллов приводили к образованию А-центров, междоузельных атомов углерода (C_i), дивакансий и комплексов собственный междоузельный атом - кислородный димер [5]. C_i отжигались в области комнатных температур с образованием комплексов C_i-O_i (уровень у $E_V + 0.35$ эВ) [6].

На рисунке 1 представлены зависимости концентрации носителей тока как функции положения уровня Ферми в облученных кристаллах p-Cz-Si после отжигов при 150 (1), 250 (2), 350 (3) °C. В кристаллах Si, прошедших ПТО и последующее облучение электронами, при изохронном отжиге наблюдается образование нового дефекта. Положение энергетического уровня (уровень половинного заполнения) вводимого центра оценено как $E_V + 0.19$ эВ (см. рис.1).

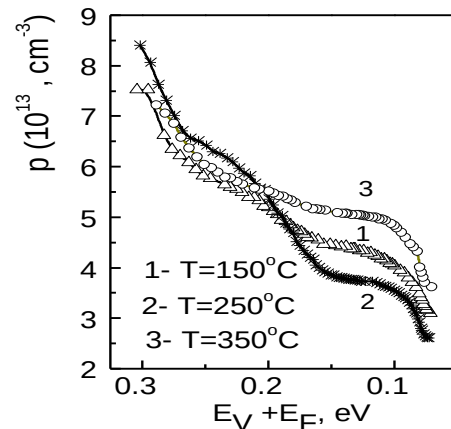


Рис. 1. Температурные зависимости концентрации носителей тока как функции положения уровня Ферми в кристаллах p-Cz-Si, прошедших ПТО (600 °C, 30 минут) после отжигов при температурах: 1 - 150 °C, 2 - 250 °C, 3 - 350 °C

Этот дефект начинает вводиться при $T_{отж} = 125-150$ °C, присутствует в максимальной концентрации при $T_{отж} = 200-300$ °C и исчезает при $T_{отж} > 350$ °C (рис. 2, кр. 2). При $T_{отж} = 200-300$ °C концентрация $D_{0.19}$ значительно превосходит концентрацию введенных при облучении дивакансий.

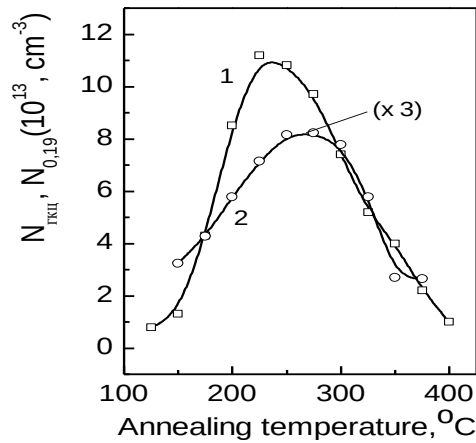


Рис. 2. Зависимость концентрации глубоких компенсирующих центров (кривая 1) в кристаллах n-Cz-Si [2] и дефекта с уровнем $E_v + 0.19$ эВ (кривая 2) в кристаллах p-Cz-Si от температуры изохронного отжига

Очевидно, что в состав исследуемого центра $D_{0.19}$ входят только основные РД, т.е. либо А-центр, либо комплекс SiO_i . Как видно из рисунка 1, концентрация SiO_i существенно не менялась при $T_{отж} = 150-250$ °C.

Вероятнее всего, $D_{0.19}$ образуется на основе А-центров. Имеющиеся данные не позволяют однозначно сказать, является ли уровень у $E_v + 0.19$ эВ донорным, либо акцепторным. Следует, однако, отметить, что образование и отжиг $D_{0.19}$ имеет место в той же области температур, где образуются и отжигаются ГКЦ в n-Cz-Si [2,3].

Ускоренный отжиг А-центров и образование ГКЦ в кристаллах n-Cz-Si, прошедших ПТО при $T = 550-800$ °C, может быть связан с присутствием примесных атомов меди или никеля [7]. Эти примеси, обладают как высокой подвижностью при $T > 100$ °C, так и высокой растворимостью при $T \sim 600$ °C ($> 10^{14}$ см⁻³) [8]. Медь и никель являются одними из наиболее распространенных остаточных примесей в кристаллах Cz-Si и эффективно вводятся при высокотемпературных технологических операциях [9]. Можно предположить, что именно эти примеси принимают участие в формировании центра $D_{0.19}$.

Закключение

Кратковременные ПТО кристаллов p-Cz-Si при $T = 600$ °C не оказывают заметного влияния на спектр и эффективность образования основных РД. В то же время в кристаллах, прошедших ПТО, при отжигах в интервале температур 150-350 °C формируются новые электрически - активных центры с уровнем $E_v + 0.19$ эВ. Эффект ПТО, вероятнее всего, связан с активацией примесей быстродиффундирующих переходных металлов Cu и Ni и их взаимодействием с РД.

Библиографические ссылки

1. Рейви В. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Москва: Мир; 1984. 470с.
2. Макаренко Л.Ф., Маркевич В.П., Мурин Л.И., Ткачев В.Д. Взаимодействие радиационных и закалочных дефектов в кремнии. Докл. АН БССР 1981; 25(11); 988-990.
3. Korshunov F.P., Makarenko L.F., Markevich V.P., Medvedeva I.F., and Murin L.I. Enhanced annealing of radiation defects in pre-heat-treated Si crystals. Proc. Intern. Conf. on the Science and Technology of Defect Contr. in Semic. (Jokohama, 1989); 1990. P. 541-545.
4. Медведева И.Ф., Макаренко Л.Ф., Маркевич В.П., Мурин Л.И. Особенности отжига радиационных дефектов в кристаллах Si, прошедших перед облучением высокотемпературную обработку. Известия АН БССР 1991; (3): 19-24.
5. Markevich V.P., Murin L.I., Lastovskii L.S., Medvedeva I.F., Lindström J.L., Peaker A.R., Coutinho J. et al. Electronic properties and structure of a complex incorporating a self-interstitial and two oxygen atoms in silicon. Solid State Phenomena 2005; (108-109): 273-278.
6. Murin L.I. On the electrical activity of the $C_i - O_i$ complex in silicon. Phys. Status Solidi A 1987; 97(2): K107-K110.
7. Медведева И.Ф., Мурин Л.И., Маркевич В.П., Коршунов Ф.П., Литвинко А.Г., Макаренко Л.Ф. Ускоренный отжиг радиационных дефектов в предварительно термообработанных кристаллах n-Cz-Si.- Труды 13-ого Междунар. совещ. «Радиационная физика тв. тела». Севастополь 2003; 425-429.
8. Kitagawa H. Diffusion and electrical properties of 3d transition-metal impurities in silicon. Solid State Phenomena 2000; (71): 51-72.
9. Kolbesen B.O., Cerva H., Zoth G. Defects and contamination in microelectronic device production. Solid State Phenomena 2001; 76-77: 1-6.