

05

## Исследование кинетики преципитации кислорода в кремнии, легированном цирконием

© В.В. Светухин, А.Г. Гришин, Т.С. Ильина,  
В.К. Прокофьева, Б.Н. Рыгалин

Ульяновский государственный университет

E-mail: slava@sv.uven.ru

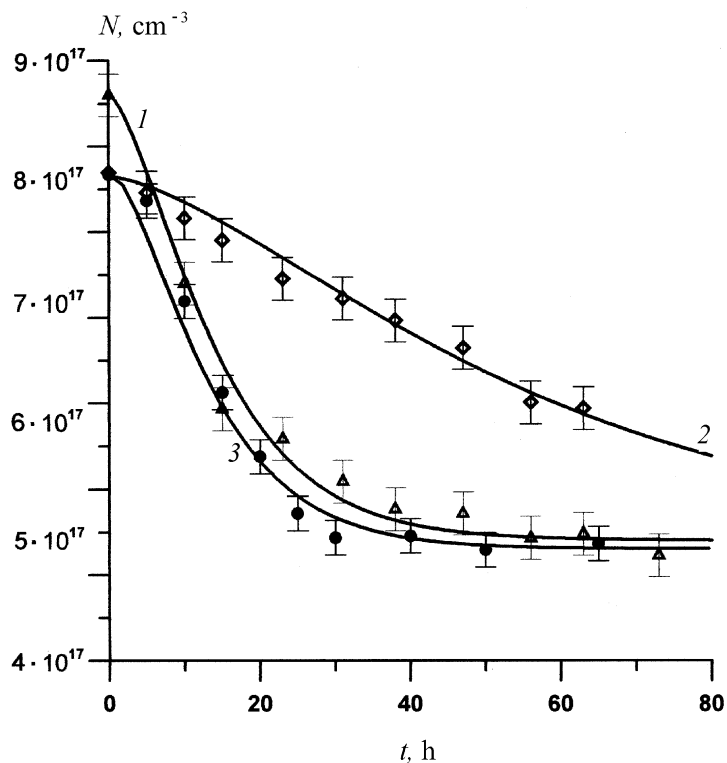
Московский институт электронной техники (технический университет)

Поступило в Редакцию 11 июня 2002 г.

Исследуется кинетика преципитации кислорода при 900 и 1050°С в образцах кремния, выращенных по методу Чохральского с различным содержанием циркония. Показано, что цирконий не участвует в процессе образования центров зарождения кислородных преципитатов, но уменьшает концентрацию междоузельного кислорода при выращивании кристалла.

Введение геттерирующих примесей, например циркония, в расплав при выращивании монокристаллов большого диаметра способствует улучшению качества кремния: повышается осевая и радиальная однородность распределения междоузельного кислорода, возрастает время жизни неравновесных носителей заряда [1]. Распределение кислорода по длине и диаметру таких кристаллов кремния хорошо подходит для проведения процесса внутреннего геттерирования. Для оптимизации процесса внутреннего геттерирования в кремнии, легированном цирконием, необходимы исследования по влиянию циркония на кинетику преципитации кислорода.

В данной работе исследовалась кинетика преципитации в образцах кремния, легированного цирконием. Монокристаллы диаметром 100 mm (КДБ-12) выращивались методом Чохральского в Московском институте электронной техники с добавлением в расплав Zr до концентрации  $5 \cdot 10^{18} - 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . Средняя концентрация циркония в кристалле кремния составляла  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  и увеличивалась от начала к концу слитка, поэтому весь кристалл был разделен на четыре части и нами исследовались пластины из каждой. С увеличением



Кинетика преципитации кислорода в образцах кремния при различной температуре отжига: 1 — 900°C (нелегированный Zr), 2 — 900°C (легированный Zr), 3 — 1050°C (легированный Zr). Точки — экспериментальные данные, сплошные линии — расчет по формуле (1).

концентрации циркония наблюдалось уменьшение концентрации междоузельного кислорода. Так, если в образцах кремния без циркония концентрация кислорода равна  $9.6 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , то в образцах кремния, легированного цирконием, концентрация кислорода уменьшилась до значений  $(6.40\text{--}8.69) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  [2]. Зависимость концентрации междоузельного кислорода от концентрации циркония может быть связана как с упругими напряжениями, создаваемыми атомами циркония, так и

с процессом образования комплексов с участием атомов кислорода и циркония.

Для всех образцов проводился отжиг при 900 и 1050°С в течение 70 h. Концентрация междоузельного кислорода определялась по полосе поглощения при 1106 см<sup>-1</sup> с помощью методики [2], позволяющей учитывать многократное отражение в пластине кремния и несимметричность обработки ее поверхностей. На рисунке показаны типичные кривые по кинетике преципитации кислорода при  $T = 900^\circ\text{C}$  и  $T = 1050^\circ\text{C}$ .

Было обнаружено, что цирконий замедляет процесс преципитации. Чтобы выяснить причину замедления кинетики преципитации кислорода, мы описали экспериментальные данные с помощью теоретической модели, предложенной в работе [3]:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -4\pi DbN_C^{2/3} [N(t) - N_E] \{N(0) + mN_C - N(t)\}^{1/3}, \quad (1)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии междоузельного кислорода,  $b = 0.25$  nm,  $N_E$  — равновесная концентрация кислорода в кремнии,  $N(0)$  — начальная концентрация кислорода,  $m = 4$  — число частиц в центре зарождения,  $N_C$  — концентрация центров зарождения преципитатов. Уравнение (1) позволяет получить в качестве частного результата асимптоты, полученные Хэмом для случая роста преципитатов с постоянным эксцентриситетом [4].

Единственным подгоночным параметров уравнения (1) является концентрация центров зарождения  $N_C$ . Все полученные экспериментальные данные были обработаны с помощью уравнения (1). Сопоставление теоретических расчетов с экспериментальными данными позволило получить значения концентраций центров зарождения для образцов из разных частей слитка кристалла, легированного цирконием, а также для образцов из кристалла, не легированного цирконием:  $(3-4) \cdot 10^{10}$  см<sup>-3</sup> при температуре отжига 900°С и  $(3-5) \cdot 10^9$  при температуре отжига 1050°С.

Известно, что в кремнии, выращенном по методу Чохральского и не легированном цирконием, концентрация центров зарождения кислородных преципитатов описывается выражением [5]:

$$N_C(T) = 0.15 \exp(2.65/kT) \text{ cm}^{-3}. \quad (2)$$

Расчет по данной формуле дает значения  $4 \cdot 10^{10}$  и  $2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$  при  $T = 900^\circ\text{C}$  и  $T = 1050^\circ\text{C}$  соответственно. Расчетные значения хорошо согласуются с результатами, полученными из обработки экспериментальных данных для образцов, легированных цирконием, что позволяет говорить о том, что Zr не участвует в процессе образования центров зарождения (или его участие проявляется очень незначительно). Таким образом, можно сделать вывод о том, что замедление кинетики преципитации в кремнии, легированном цирконием, связано прежде всего с уменьшением концентрации междоузельного кислорода.

## Список литературы

- [1] Рыгалин Б.Н., Соколов Е.Б., Прокофьева В.К. // Изв. вузов. Электронная техника. 2000. № 4,5. С. 71–73.
- [2] Пчелинцева Т.С., Прокофьева В.К., Светухин В.В. и др. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 20. С. 20–24.
- [3] Булярский С.В., Светухин В.В., Приходько О.В. // ФТП. 1999. Т. 33. № 11. С. 1280–1286.
- [4] Ham F.S. // Phys. Chem. Solids. 1958. V. 6. P. 335–350.
- [5] Borghesi A., Pivac B., Sassella A. et al. // J. Appl. Phys. 1995. V. 77. P. 4196–4310.