

- [1] Lehovick K. // Sol. St. Electron. 1968. V. 11. N 1. P. 135—137.  
 [2] Kang J. S., Schroder D. K. // Phys. St. Sol. (a). 1985. V. 89. N 1. P. 13—43.  
 [3] Schroder D. K., Nathanson H. C. // Sol. St. Electron. 1970. V. 13. N 5. P. 577—582.  
 [4] Борковская О. Ю., Дмитрук Н. Л., Конакова Р. В., Литовченко В. Г., Маева О. И. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 9. С. 1640—1646.

Ленинградский политехнический институт  
им. М. И. Калинина

Получено 16.06.1988  
Принято к печати 17.04.1989

ФТП, том 23, вып. 10, 1989

## ДИФФУЗИЯ ВАНАДИЯ В КРЕМНИИ

Азимов Г. К., Зайнабидинов С. З., Козлов Ю. И.

В настоящей работе приводятся результаты исследования диффузии ванадия в кремнии. Образцы монокристаллического кремния размерами  $0.5 \times 15 \times 15$  мм с  $\rho = 20$  Ом·см *n*-типа и  $\rho = 10, 1000$  Ом·см *p*-типа в интервале температур 1100—1250 °С отжигались в электрической печи сопротивления в течение 5—25 ч. В качестве источника диффузии использовался ванадий-хлорид, меченный радиоактивным изотопом  $^{48}\text{V}$  (период полураспада 16.1 дня), нанесенный на шлифованную поверхность образца.

Образцы кремния с нанесенным слоем ванадия-хлорида помещались в кварцевые ампулы, которые откачивались до  $10^{-4}$  Тор и заполнялись аргоном. После диффузионного отжига ампулы с образцами сбрасывались в воду комнатной температуры. Далее, для удаления остаточной части примесных атомов с поверхности образцы промывались в плавиковой кислоте HF и кипящей смеси  $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{HCl}$ . Профиль распределения ванадия определялся методом снятия тонких слоев (0.2—0.5 мкм) с помощью раствора  $1\text{HF} : 40\text{HNO}_3$  с последующими промывкой в кипящей смеси  $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{HCl}$  и измерениями остаточной  $\gamma$ -активности образца. Толщина снятых слоев определялась путем взвешивания образцов до и после снятия слоев.

Авторадиограммы, полученные до и после диффузионного отжига и в процессе снятия слоев, свидетельствуют о равномерном распределении ванадия по сечению образца и об отсутствии включений ванадия.

Для определения коэффициента диффузии *D* экспериментальная кривая распределения остаточного количества радиоактивной примеси *Q*(*x*) сопоставлялась с теоретической для диффузии из постоянного источника:

$$Q(x) = 2C_0 (Dt)^{1/2} \operatorname{erfc} [x/2 (Dt)^{1/2}],$$

где  $C_0$  — поверхностная концентрация, *x* — суммарная толщина снятых слоев, *t* — время диффузии.

Полученные результаты показывают, что коэффициент диффузии ванадия в кремнии увеличивается по мере роста температуры от  $3.4 \cdot 10^{-11}$  см<sup>2</sup>/с при 1100 °С до  $4.4 \cdot 10^{-10}$  см<sup>2</sup>/с при 1250 °С.

Температурная зависимость коэффициента диффузии описывается выражением

$$D = 6.1 \cdot 10^{-1} \exp(-2.8/kT) \text{ см}^2/\text{с}.$$

Поверхностная концентрация ванадия в интервале температур 1100—1250 °С составляет  $\sim 2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> и во всем интервале температур исследования остается постоянной.

Таким образом, для ванадия в кремнии в отличие от глубокоуровневых атомов элементов  $3d$ -переходной группы характерно малое значение коэффициента диффузии, как и для других элементов V группы (P, As, Sb, Bi), которые диффундируют в кремнии преимущественно по вакансионному механизму [1].

Список литературы

[1] Компенсированный кремний. Л., 1972. 240 с.

Ташкентский  
государственный университет  
им. В. И. Ленина

Получено 18.07.1988  
Принято к печати 17.04.1989

ФТП, том 23, вып. 10, 1989

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИИ МЕДИ  
В ПРОФИЛИРОВАННОМ КРЕМНИИ,  
ПОЛУЧЕННОМ СПОСОБОМ А. В. СТЕПАНОВА**

**Абдурахманов К. П., Закс М. Б., Касаткин В. В.,  
Куликов Г. С., Першеев С. К., Ходжаев К. Х.**

В настоящее время в СССР и за рубежом предпринимаются активные попытки решить комплекс проблем, связанных с массовым производством солнечных элементов на основе кремния. Для производства дешевых солнечных элементов используются новые методы получения профилированных кремниевых подложек из расплава. В основе методов лежат способ Степанова [1] или его модификации, позволяющие выращивать непосредственно из расплава кристаллы кремния в форме лент, труб, многогранников и др. [1-3].

Изготовление, надежность и стабильность полупроводниковых приборов, получаемых на основе профилированного кремния, наряду со многими другими факторами определяются также и диффузионными свойствами легирующих контактных примесей и неконтролируемых загрязнений. Поэтому как для создания, так и для оценки надежности и стабильности приборов, получаемых на основе профилированного кремния, необходима информация о значениях диффузионных параметров ряда примесей в этом материале.

Цель данной работы — экспериментальное определение диффузионных параметров меди в профилированном кремнии, полученном способом Степанова. Диффузия примеси меди исследовалась в интервале температур 900—1050 °С. Время диффузионного отжига варьировалось от 2 до 10 мин. Концентрационные распределения меди по глубине и поверхности образцов профилированного кремния изучались с применением радиоактивного изотопа  $^{64}\text{Cu}$  (в том числе и с помощью автордиографической методики). Контроль за радиоактив-

Таблица 1

Значения коэффициентов диффузии  $D$  меди в профилированном кремнии, полученном способом Степанова

| $T, ^\circ\text{C}$ | Время отжига, мин | $D \cdot 10^6, \text{cm}^2/\text{c}$ |
|---------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 900                 | 10                | 2.9                                  |
| 950                 | 10                | 4.3                                  |
| 1000                | 5                 | 5.3                                  |
| 1050                | 3                 | 7.6                                  |

Таблица 2

Диффузионные параметры меди — энергия активации  $\Delta E$  и предэкспоненциальный множитель  $D_0$  в монокристаллическом (1) и профилированном (2) кремнии

| Кремний | $D_0 \cdot 10^2, \text{cm}^2/\text{c}$ | $\Delta E, \text{эВ}$ | Литература  |
|---------|--|-----------------------|-------------|
| 1       | 4                                      | 1.0                   | [4-6]       |
| 2       | 1.5                                    | 0.86                  | Наши данные |