

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}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 ΔE 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 |

ной чистотой изотопа, полученного нейтронной активацией, осуществлялся с помощью многоканального амплитудного анализатора АИ-1024. Профили концентрационного распределения меди, полученные в результате диффузии в образцы, определялись методом послойного радиоактивного анализа путем измерения интегральной остаточной γ -активности. Коэффициенты диффузии вычислялись методом сравнения экспериментальных точек со стандартными кривыми, соответствующими erfc -функциям. Полученные при этом значения коэффициентов диффузии (усредненные по нескольким образцам) для различных температур приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, значения коэффициентов диффузии возрастают с ростом температуры, температурная зависимость коэффициента диффузии соответствует выражению $D = 1.5 \cdot 10^{-2} \times \exp[-(0.86 \pm 0.04)/kT]$ см²/с. Эта зависимость показана на рис. 1.

Результаты, полученные в экспериментах по электропереносу меди в профилированном кремнии при температурах 1000 и 1050 °С, показали, что эта примесь мигрирует в виде положительных ионов.

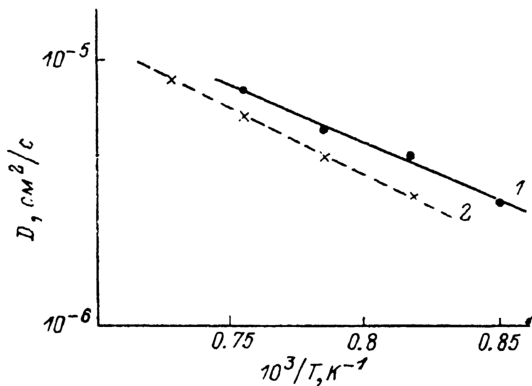


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициентов диффузии меди в профилированном (1) и монокристаллическом (2) [4-6] кремнии.

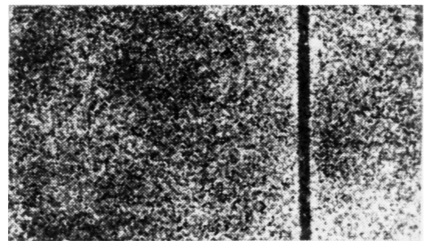


Рис. 2. Авторадиограмма пластины профилированного кремния, диффузионно легированной примесью меди при 1000 °С (увел. $\times 8$).

Анализируя экспериментальные результаты, отметим прежде всего то, что примесь меди диффундирует в профилированном кремнии чрезвычайно быстро и с весьма малой энергией активации $\Delta E = 0.86$ эВ. Такая большая скорость диффузии характерна для меди и в монокристаллическом кремнии. В табл. 2 приведено сравнение наших данных для профилированного кремния с некоторыми часто цитируемыми данными для диффузии меди в монокристаллах Si [4-6]. Сравнение показывает, что медь диффундирует в профилированном кремнии с несколько меньшей энергией активации, чем в монокристаллах. При этом значения коэффициентов диффузии в профилированном материале выше, чем в монокристаллах (при одних и тех же температурах). При более низких температурах (экстраполяция данных) значения коэффициентов диффузии в профилированном Si в ~ 3 раза выше, чем в монокристаллическом (рис. 1). Такое различие, на наш взгляд, связано с определенной дефектностью профилированного кремния, выращенного способом Степанова. В этом материале имеется ряд характерных дефектов, возникающих в процессе его роста: границы между крупными монокристаллическими блоками, частицы SiC и их сродки, пучки дислокаций и ростовые борозды [7-9]. Наличие специфических дефектов структуры в профилированном кремнии обуславливает существование в процессе диффузии дополнительных ускоренных потоков примеси по таким дефектам, что и приводит к уменьшению энергии активации и увеличению скорости диффузии в этом материале по сравнению с монокристаллическим кремнием, выращенным по методу Чохральского. Причем этот эффект выявляется сильнее при низких температурах, поскольку из-за малой энергии активации по границам зерен (блоков) и другим дефектам превалируют диффузионные потоки по дефектным областям. Наличие диффузионных потоков по дефектам про-

филлированного кремния выявлено нами с помощью автордиографической методики. На рис. 2 в качестве примера приведена автордиограмма диффузионно легированной радиоактивной медью пластины профилированного кремния. На ней отчетливо видно скопление примеси на ростовой борозде.

Список литературы

- [1] Степанов А. В. // Проблемы современной кристаллографии. М., 1975. С. 66—79.
- [2] Абросимов Н. В., Брантов С. К., Люкс Б., Татарченко В. А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1983. Т. 47. В. 2. С. 351—355.
- [3] Абросимов Н. В., Ерофеева С. А., Татарченко В. А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. В. 12. С. 2361—2363.
- [4] Болтакс Б. И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Л., 1972. 384 с.
- [5] Технология СВИС. Т. 1. / Под ред. С. Зи. М., 1986. 405 с.
- [6] Болтакс Б. И., Созинов И. И. // ЖТФ. 1958. Т. 28. В. 3. С. 673—679.
- [7] Ши Дж., Гейтос Г., Абросимов Н. В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1979. Т. 43. В. 9. С. 1992—1994.
- [8] Абросимов Н. В., Брантов С. К., Татарченко В. А., Эпельбаум Б. М. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1982. Т. 18. В. 2. С. 181—183.
- [9] Евтодий Б. Н., Егоров Л. П., Гринюте Г. А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. В. 12. С. 2349—2354.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 25.04.1989
Принято к печати 28.04.1989

ФТП, том 23, вып. 10, 1989

ЛАЗЕРНОЕ ТВЕРДОФАЗНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ ФОСФИДА ИНДИЯ

Бончик А. Ю., Кияк С. Г., Огнева О. В., Поройков Ю. А.,
Похмурская А. В., Равич В. Н.

Лазерные методы модификации свойств и структуры материалов находят все большее применение в полупроводниковом материаловедении [1]. В частности, лазерное легирование полупроводников применяется для формирования активных и пассивных элементов в полупроводниковых приборах. Новые возможности применения лазерного излучения в технологии полупроводниковых приборов были продемонстрированы в [2-5] для формирования субмикронных легированных слоев на основе кремния под действием непрерывного излучения лазеров на CO_2 . Суть метода заключается в том, что при воздействии лазерного излучения с длиной волны, для которой полупроводник является прозрачным, поглощение световой энергии происходит в основном в пленке материала лигатуры, нанесенной на поверхность образцов. В процессе облучения пленка примесных элементов разогревается и происходит твердофазная диффузия лигатуры в полупроводник. Поскольку метод лазерного твердофазного легирования позволяет избежать длительного высокотемпературного нагрева материала, он может быть эффективно использован для легирования легко диссоциирующих полупроводниковых материалов.

Известно [6], что процесс контролируемого легирования фосфида индия традиционными методами связан с определенными трудностями, заключающимися в необратимом изменении свойств материала при термообработке, и низкой электрической активностью акцепторных примесей, например цинка, в легированных слоях.

В настоящей работе исследованы электрофизические свойства легированных слоев и p - n -переходов, сформированных методом лазерной твердофазной диффузии цинка в пластину фосфида индия — легко диссоциирующего соединения группы $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$.