

05;06;12

Диффузия эрбия в кремнии

© С. Зайнабидинов, Д.Э. Назиров, А.Ж. Акбаров
А.А. Иминов, Т.М. Тоштемиров

Ташкентский государственный университет

Поступило в Редакцию 16 декабря 1996 г.

Исследована диффузия эрбия в кремнии электрическим методом. В интервале температур 1150–1250°С коэффициент диффузии эрбия увеличивается от $1.4 \cdot 10^{-13}$ до $6.2 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Полученные значения коэффициента диффузии эрбия в кремнии хорошо согласуются с данными, полученными методом меченых атомов.

Одной из актуальных проблем физики полупроводникового материаловедения и приборостроения является повышение термической и радиационной стабильности кремния, что обусловило интерес к легированию кремния редкоземельными элементами [1–4]. В связи с этим заслуживает внимания исследование диффузии редкоземельных элементов в кремнии. Однако число таких исследований ограничено, а результаты, полученные разными авторами, неоднозначны или же сомнительны.

До настоящего исследования диффузия эрбия в кремнии, как отмечено в [3], исследовалась в работе [5], где был использован косвенный метод — метод электропроводности. Величина энергии активации, найденная в этой работе, $\Delta E = 4.96 \text{ eV}$ вызывает определенные сомнения, поскольку она практически совпадает с величиной энергии активации самодиффузии кремния или даже несколько превышает ее [6]. В связи с этим в работе [7] выполнено детальное исследование диффузии эрбия в кремнии с использованием прямого метода — метода радиоактивных изотопов.

В настоящем сообщении приводятся результаты выполненного исследования диффузии эрбия в кремнии посредством последовательного удаления тонких слоев и измерения удельного сопротивления четырехзондовым методом.

Источник диффузии создавался нанесением на поверхность образцов кремния *n*-типа ($\rho = 15 \Omega \cdot \text{см}$, площадь $\sim 1.5 \text{ см}^2$, толщина $\sim 350 \mu\text{м}$) хлорида эрбия. Диффузионный отжиг проводился на воздухе в интервале

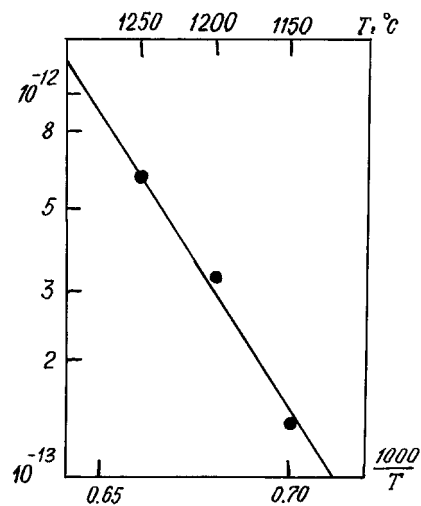


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента диффузии эрбия в кремнии.

1150–1250°C в течение 5–24 h. После диффузионного отжига образцы промывались в HF, кипятились в царской водке ($3\text{HCl}:\text{HNO}_3$) в течение 10 min, а также промывались в дистиллированной воде. Профиль удельного сопротивления определялся методом секционирования–стравливания тонких слоев (в растворе $1\text{HF}:4\text{OHNO}_3$, с промывкой в $3\text{HCl}:1\text{HNO}_3$) и измерением удельного сопротивления образца четырехзондовым методом. Толщина снятых слоев ($0.1\text{--}0.5\ \mu\text{m}$) определялась взвешиванием образца. Измерения, проведенные в нескольких точках поверхности, свидетельствовали о равномерном распределении примесей по сечению образца.

В предположении, что соблюдается закон Фика и что поверхностная концентрация примеси не меняется во времени (диффузия из постоянного источника в полуограниченное тело), а также исходя из того, что профиль электрически активных носителей заряда повторяет профиль остаточного количества примеси диффузанта, так как удельное сопротивление образца — функция концентрации диффузанта ($\rho = f(n)$, где $n = f(Q(x))$), мы определили коэффициент диффузии эрбия в кремнии. Здесь $Q(x)$ — остаточное количество примеси диффузанта, n — концентрация электрически активных носителей заряда. Для находде-

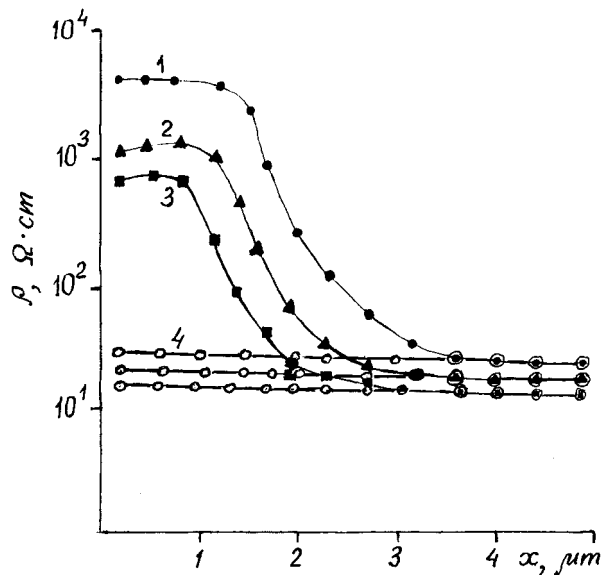


Рис. 2. Профиль распределения удельного сопротивления легированных и контрольных образцов: 1 — Si(Er)1250°C — 5 h, 2 — Si(Er)1200°C — 5 h, 3 — Si(Er)1150°C — 8 h, 4 — контрольные образцы.

ния коэффициента диффузии D экспериментальная кривая остаточного удельного сопротивления сопоставлялась с теоретической кривой для диффузии из постоянного источника [8].

Как показывают полученные результаты, кривые остаточного удельного сопротивления могут быть описаны функцией $ierzfc$, соответствующей решению уравнений Фика для диффузии из постоянного источника. На рис. 1 представлена температурная зависимость коэффициента диффузии эрбия в кремнии. Как следует из полученных данных, коэффициент диффузии эрбия в кремнии, вычисленный из кривых, увеличивается от $\sim 10^{-13}$ до $6 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Температурная зависимость коэффициента диффузии удовлетворительно описывается соотношением Аррениуса

$$D = 5 \cdot 10^{-3} \exp \left[-\frac{3 \text{ eV}}{KT} \right] \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} (1150-1250^\circ \text{ C}).$$

При этом следует отметить, что глубина проникновения эрбия в кремнии, определяемая величиной $2\sqrt{D \cdot t}$, во всем исследованном интервале не превышает нескольких микрон. Также обнаружено, с использованием термозонда, что эрбий проявляет p -тип проводимости на поверхности кремния n -типа после диффузионного отжига.

При определении диффузионных параметров вместе с легированными образцами исследовали и контрольные образцы n -типа. Результаты контрольных образцов показывают, что профиль распределения удельного сопротивления контрольных образцов имеет вид прямой линии, а профиль легированных образцов имеет высокоомную часть приповерхностной области. Это подтверждает, что при отжиге происходит диффузия именно эрбия (рис. 2).

Полученные нами значения коэффициента диффузии эрбия хорошо согласуются с данными [7] и с учетом акцепторной природы эрбия в кремнии, выявленной нами, мы полагаем, что полученные нами значения коэффициентов диффузии и энергии активации эрбия свидетельствуют о том, что эта примесь, как и празеодим [8], скандий [9] и туллий [7], в кремний, подобно другим элементам III группы [6], диффундирует по узлам кристаллической решетки.

Список литературы

- [1] Mandelkorn J., Schwartz L., Broder J., Kautz H., Ulman R. // J. Appl. Phys. 1964. V. 35. N 7. P. 2258–2260.
- [2] Баграев Н.Т., Власенко Л.С., Волле В.М., Воронков В.Б., Грехов И.В., Добровенский В.В., Шагун А.И. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 5. С. 917–928.
- [3] Назыров Д.Э., Регель А.Р., Куликов Г.С. // Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР. Л., 1987. № 1122.
- [4] Малкович Р.Ш., Назыров Д.Э. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 15. В. 4. С. 38–40.
- [5] Агеев В.В., Аксенов Н.С., Коковина В.Н. // Изв. ЛЭТИ. 1977. С. 80–85.
- [6] Frank W., Gosele U., Mehrer H., Seeger A. // Diffusion in Crystalline Solids / Ed. by G.E. Murch and A.S. Nowick. N.Y., 1984. P. 76.
- [7] Назыров Д.Э., Куликов Г.С., Малкович Р.Ш. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 9. С. 1653–1654.
- [8] Назыров Д.Э., Усачева В.П., Куликов Г.С., Малкович Р.Ш. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 12. С. 1102–1104.
- [9] Азимов Г.К., Зайнабидинов С.З., Назыров Д.Э. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 3. С. 556–557.