вающихся в подрешетку Ga [3]. По нашим данным, КР олова при $T=700$ °С увеличивается примерно в 50 раз, хотя содержание его в используемых марках Ga и Bi одинаково. Если еще учесть очень малую растворимость Si в висмуте, особенно при низких температурах [15], то становятся понятными причины изменения природы основных остаточных примесей в слоях GaAs, полученных из висмутового расплава.

Изменение природы фоновых акцепторных примесей, на наш взгляд, является причиной уменьшения степени компенсации в слоях GaAs, поскольку при выращивании из висмута «главными» акцепторами становятся летучие элементы II группы, концентрация которых снижается при отжиге расплава.

Авторы благодарят Ю. Б. Болховитянова, С. И. Чикичева и А. С. Терехова за полезные обсуждения настоящей работы.

Литература

[1] Ганина Н. В., Уфимцев В. Б., Фистуль В. И. — Письма ЖТФ, 1982, т. 8, в. 10, с. 620—623.
[2] Акчурин Р. Х., Бирюлин Ю. Ф., Ле Динь Као, Фистуль В. И., Чалдышев В. В. — Электрон. техн., Материалы, 1984, № 11, с. 78—80.
[3] Марончук Ю. Е., Полянская Т. А., Якушева Н. А. — Изв. АН СССР, Неорг. матер., 1984, т. 20, в. 1, с. 13—16.
[4] Якушева Н. А., Сикорская Г. В. — Электрон. техн., Материалы, 1985, № 1, с. 47—49.
[5] Якушева Н. А., Сикорская Г. В., Созинов В. Н. — Изв. АН СССР, Неорг. матер., 1985, т. 21, в. 4, с. 534—536.
[6] Бирюлин Ю. Ф., Ганина Н. В., Чалдышев В. В., Шмарцев Ю. В. — Письма ЖТФ, 1986, т. 12, в. 5, с. 274—276.
[7] Wolfe C. M., Stillman G. E. — Appl. Phys. Lett., 1971, v. 18, N 5, p. 205—208.
[8] Ozeki M., Nakai K., Dazai K., Ryuzan O. — Japan. J. Appl. Phys., 1974, v. 13, N 7, p. 1121—1126.
[9] Бирюлин Ю. Ф., Голубев Л. В., Новиков С. В., Чалдышев В. В., Шмарцев Ю. В. — ФТП, 1987, т. 21, в. 5, с. 949—952.
[10] Ashen D. J., Dean P. J., Hurle D. T. J., Mullin J. B., White A. M., Greene P. D. — J. Phys. Chem. Sol., 1975, v. 36, N 10, p. 1041—1053.
[11] Магарилл Л. И., Палкин А. М., Созинов В. Н., Шегай О. А., Энтин М. В. — Письма ЖЭТФ, 1984, т. 40, в. 10, с. 408—410.
[12] Голубев В. Г., Иванов-Омский В. И., Минервин И. Г., Осутин А. В., Поляков Д. Г. — ЖЭТФ, 1985, т. 88, в. 6, с. 2052—2062.
[13] Armistead C. J., Davidson A. M., Knowles P., Najda S. P., Stradling R. A., Nicholas R. J., Sessions S. J. — In: Application of High Magnetic Fields in Semiconductor Physics. Berlin—Heidelberg—N. Y.—Tokyo, 1983 (Lect. Not. Phys., 177), p. 289—292.
[14] Андреев В. М., Долгинов Л. М., Третьяков Д. Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. М., 1975. 328 с.
[15] Girault B., Chevrier F., Joullie A., Bougnot G. — J. Cryst. Growth, 1977, v. 37, N 1, p. 169—177.

Институт физики полупроводников СО АН СССР
Новосибирск

Получено 11.11.1987
Принято к печати 2.06.1988

ФТП, том 22, вып. 11, 1988

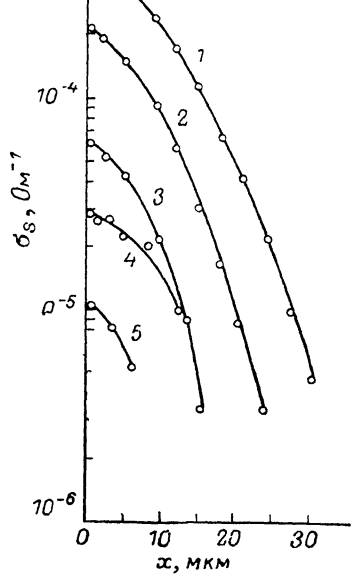
О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЯХ КРЕМНИЯ С ПОМОЩЬЮ НАБЛЮДЕНИЯ ДИФФУЗИИ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ АТОМОВ НАТРИЯ

Король В. М.

В ионно-легированных слоях (ИЛС) кремния после термического отжига обычно присутствуют остаточные дефекты (ОД), которые оказывают влияние на предельные характеристики p—n-переходов [1]. В этой связи поиск экспрессных методов обнаружения таких дефектов является важной практической за-

дачей. Обычно ОД наблюдают с помощью электронной микроскопии или метода резерфордовского обратного рассеяния (РОР), если концентрация ОД достаточно велика. Однако указанные методы трудоемкие и дорогостоящие. Мы сообщаем здесь о возможности качественного обнаружения ОД в ИЛС кремния с помощью простого метода, в основе которого лежит ранее наблюдаемая высокая чувствительность диффузии междоузельных атомов натрия к присутствию радиационных дефектов [2].

Исследования проводили на образцах зонно-плавленного высокоомного (1 кОм·см) p-Si, которые бомбардировались ионами P^+, Ar^+ и K^+ с $E=50\div60$ кэВ, дозами $\Phi=20$, 100 мкКл/см^2 и термически отжигались при $T_{отж}=700$ и 800 °С. Для обнаружения ОД в эти же образцы имплантировали ионы Na^+ при дозе $\Phi=100$ мкКл/см^2 и энергиях 15, 20 кэВ. В последнем случае средний пробег R_p ионов Na^+ составляет 340 А, что заметно меньше, чем $\bar{R}_p$ указанных выше ионов [3]. Диффузионную разгонку атомов натрия проводили на воздухе при температуре 600 °С в течение 30 мин, что приводило к образованию глубокого p—n-перехода. С помощью 4-зондового метода измеряли профили поверхностной проводимости $\sigma_s(x)$ легированного натрием слоя при последовательном химическом стравливании тонких слоев кремния. По виду кривых $\sigma_s(x)$ судили о присутствии в ИЛС ОД. Результаты измерений представлены на рисунке. Здесь кривая *1* характеризует диффузию натрия в «чистом» кремнии, остальные кривые относятся к образцам с ОД.



Профили поверхностной проводимости в легированных ионами натрия образцах кремния, содержащих остаточные дефекты.

Имплантация натрия: *1* — в «чистый» кремний, *2—5* — в образцы кремния с остаточными дефектами, созданными ионами P^+ (*2*, *3*), Ar^+ (*4*) и K^+ (*5*) с энергиями $E=20$ (*1—3*) и 15 кэВ (*4*, *5*)

Как видно из рисунка, наибольшая проводимость на всех глубинах имеет место в случае имплантации ионов Na^+ в «чистый» кремний (кривая *1*). При имплантации ионов P^+ (кривые *2*, *3*, $E=60$ кэВ, $\Phi=20$ и 100 мкКл/см^2 соответственно, $T_{отж}=800$ °С, 30 мин) с ростом их дозы проводимость и ширина легированного натрием n-слоя уменьшаются. Это обусловлено ростом числа неотжигаемых ОД, которые являются ловушками для диффундирующих в глубь междоузельных атомов натрия. Значения коэффициента диффузии натрия, вычисленные для кривых *1—3*, оказываются практически одинаковыми. Поэтому уменьшение ширины n-слоя с ростом дозы ионов P^+ следует объяснять не замедлением диффузии атомов натрия, а уменьшением их числа в результате захвата на ловушки.

Для имплантированных ионов Ar^+ (кривая *4*, $E=50$ кэВ, $\Phi=100$ мкКл/см^2, $T_{отж}=700$ °С, 60 мин) и ионов K^+ (кривая *5*, $E=55$ кэВ, $\Phi=100$ мкКл/см^2, $T_{отж}=700$ °С, 60 мин) проводимость легированного слоя существенно меньше, чем при имплантации ионов P^+. Это указывает на большую концентрацию ОД, присутствующих в ИЛС, при имплантации примесей с низкой растворимостью по сравнению с фосфором. По данным работы [4], из ряда причин, влияющих на концентрацию ОД в рекристаллизованных слоях кремния, таких как ориентация кристалла, доза ионов, предыстория отжига и степень растворимости примеси, последний фактор оказывается решающим при дозах $\Phi < 2\cdot10^3$ мкКл/см^2.

Из рисунка видно также, что влияние ОД на профили $\sigma_s(x)$ надежно выявляется даже при сравнительно небольшой дозе ионов P^+ ($\Phi=20$ мкКл/см^2,

кривая *3*), которая в несколько раз меньше дозы аморфизации кремния [5]. Отметим, что в этом случае метод РОР оказывается не приемлемым для обнаружения ОД из-за низкой его чувствительности ($\sim 10^{21}$ см$^{-3}$ [6]).

Таким образом, представленные результаты показывают возможность качественного обнаружения и контроля остаточных дефектов в ИЛС кремния с помощью измерения диффузионных профилей электрически активных атомов натрия, введенных в эти слои имплантацией.

Литература

[1] Риссел Х., Рунге И. Ионная имплантация. М., 1983. 360 с.
[2] Беликова М. Н., Король В. М. — Письма ЖТФ, 1977, т. 3, в. 6, с. 250—254.
[3] Ковалева Е. А., Король В. М., Меррик Б. Р. — Электрон. техн., сер. 2, Полупроводн. приборы, 1976, в. 3 (105), с. 33—38.
[4] Ckristodoulides C. E. et al. — Rad. Eff., 1978, v. 36, p. 73—82.
[5] Зорин Е. И., Павлов П. В., Тетельбаум Д. И. Ионное легирование полупроводников. М., 1975. 128 с.
[6] Мейер Дж., Эриксон Л., Дэвис Дж. Ионное легирование полупроводников. М., 1973. 296 с.

Научно-исследовательский институт
физики РГУ
Ростов-на-Дону

Получено 6.05.1988
Принято к печати 8.06.1988

ФТП, том 22, вып. 11, 1988

ДИФФУЗИЯ ФОСФОРА 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.

Профилированный кремний, выращиваемый по способу, предложенному А. В. Степановым, представляет большой практический интерес как дешевый материал, являющийся основой для производства солнечных элементов и некоторых других полупроводниковых приборов [1-3]. При этом для создания *p—n*-переходов в таком материале используется стандартная диффузионная технология, применяемая обычно для монокристаллического кремния. В то же время изучение структурных особенностей профилированного кремния, проведенное рядом исследователей [4-6], показало, что этот материал содержит специфические дефекты структуры — границы монокристаллических блоков, ростовые борозды, сростки SiC и др. Наличие таких дефектов может оказать существенное влияние на процессы диффузии примесей. Однако опубликованных данных по исследованию диффузии примесей в профилированном кремнии до настоящего времени не имелось.

Целью данной работы было экспериментальное определение диффузионных параметров примеси фосфора в таком материале. Объектом исследования служил профилированный кремний, выращенный по способу Степанова. Диффузия фосфора изучалась в интервале температур 1015÷1200 °С. Для устранения концентрационной зависимости коэффициента диффузии, а также с целью приближения условий эксперимента к технологии изготовления приборов в диффузионных опытах мы использовали ограниченный источник примеси. Ограниченным источником диффузанта служил тонкий (0.9 мкм) слой вблизи поверхности образцов, полученный путем предварительной диффузионной загонки фосфора в образцы при температуре 1015 °С в течение 25 мин. Поверхностная концентрация фосфора в таком слое составляла $2 \cdot 10^{21}$ см$^{-3}$. Диффузионные профили фосфора, полученные разгонкой ограниченного источника, определялись послойным радиоактивным анализом после нейтронной активации об-