

06.1; 06.2; 12

© 1992

## ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ АТОМОВ ДИФФУЗАНТА НА КОЭФФИЦИЕНТ ДИФфуЗИИ И КОНЦЕНТРАЦИЮ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ АТОМОВ СЕРЫ В КРЕМНИИ

М.К. Бахадырханов, Ш.И. Аскарров,  
Б.З. Шарипов, Н. Норкулов

Кремний, легированный серой, является одним из наиболее перспективных материалов электронной техники, так как на основе его можно создать высокочувствительные ИК-фотоприемники, работающие в области 8–14 мкм [1], твердотельные генераторы инфранизких частот с большой амплитудой [2], *S*-диоды [3] и т. д. Кроме того, кремний, легированный серой, отличается высокой термо- и радиационной стойкостью [4]. Однако некоторые технологические сложности легирования кремния серой, в частности, сильная эрозия поверхности пластины в процессе диффузионного отжига, затрудняют получить материал с заданными и воспроизводимыми параметрами.

Целью настоящей работы явилось усовершенствование технологии легирования кремния серой. С этой целью были исследованы влияние плотности атомов диффузанта ( $N_S$ ) на концентрацию электроактивных атомов и коэффициент диффузии серы в кремнии, а также на скорость эрозии поверхности кремниевых пластин. Диффузия серы в кремний осуществлялась из газовой фазы в запаянных кварцевых ампулах, предварительно откачанных до  $10^{-5}$  мм рт. ст. Управление величиной осуществлялось путем изменения массы навески серы ( $m$ ) в ампуле:

$$N_S = \frac{m}{\mu} \frac{N_A}{V},$$

где  $\mu$  – молярная масса серы,  $N_A$  – число Авагадро,  $V$  – объем ампулы. Скорость эрозии поверхности пластин определялась как половина разности толщины пластин до и после отжига. В качестве исходного материала использовались пластины монокристаллического кремния марки КДБ- с  $\rho = 10$  Ом·см. Отжиг производился при температуре 1200 °С. Величина  $N_S$  варьировалась в пределах ( $5 \cdot 10^{17}$ – $2 \cdot 10^{20}$ ) атом/см<sup>3</sup>. Были сняты профили распределения поверхностного сопротивления и постоянной Холла пластин кремния, легированных серой при различных  $N_S$ . На основе этих результатов, с учетом спектра энергетических уровней серы, по методике, описанной в работе [5], были построены расчетные профили распределения концентрации электроактивных атомов серы. Получен-

Таблица 1

$N_S$ , атом/см <sup>3</sup>	$\rho$ , Ом·см	$\mu$ , см <sup>2</sup> /В·с	$n$ , см <sup>3</sup>
$5 \cdot 10^{17}$	21	290	$1 \cdot 10^{15}$
$2.5 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^4$	180	$3 \cdot 10^{12}$
$5 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^5$	386	$5.4 \cdot 10^{10}$
$2.5 \cdot 10^{19}$	19	1312	$2 \cdot 10^{14}$
$3.7 \cdot 10^{19}$	10	1270	$4.5 \cdot 10^{14}$
$5 \cdot 10^{19}$	3.8	1294	$1.6 \cdot 10^{15}$
$1 \cdot 10^{20}$	2.5	1141	$2.1 \cdot 10^{15}$
$2 \cdot 10^{20}$	0.8	1417	$5 \cdot 10^{15}$

Таблица 2

$N_S$ , атом/см <sup>3</sup>	$5 \cdot 10^{17}$	$2.5 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{18}$	$2.5 \cdot 10^{19}$	$3.75 \cdot 10^{19}$	$5 \cdot 10^{19}$	$10^{20}$	$2 \cdot 10^{20}$
$v$ , мк/час	0	0	0	1	3	7	9	6

ные профили распределения концентрации электроактивных атомов серы однозначно показали, что коэффициент диффузии серы в исследованном пределе не зависит от  $N_S$  и при 1200 °С составляет  $10^{-8}$  см<sup>2</sup>/с. Определенное значение коэффициентов диффузии имело хорошее согласие с результатом работы [6]. Что касается концентрации электроактивных атомов серы, то ее величина зависела от  $N_S$ . В исследованном пределе  $N_S$  концентрация электроактивных атомов серы изменялась в пределах ( $1 \cdot 10^{15}$  –  $2 \cdot 10^{16}$ ) атом/см<sup>3</sup>. Это позволяет получить пластины кремния, легированного серой с различными удельными сопротивлениями как п-, так и р-типа (таблица № 1), при постоянном значении температуры диффузионного отжига. Предлагаемый способ легирования позволяет (из-за независимости коэффициента диффузии серы от  $N_S$ ) снизить энергоемкость самого процесса легирования. Действительно, если для получения высокоомных пластин кремния, легированного серой, необходимо отжечь исходный кремний при температуре 1050–1075 °С в течении 400 часов, то по предлагаемому способу легирования, управлением  $N_S$ , достаточно его отжечь при температуре 1200 °С в течении 25 часов. Кроме того, управляя величиной  $N_S$ , оказалось возможным существенное снижение скорости эрозии поверхности кремниевых пластин (таблица № 2). Из результатов, приведенных в таблице № 2, следует, что особо сильное снижение скорости эрозии поверхности пластин имеет место при  $N_S = 5 \cdot 10^{19}$  атом/см<sup>3</sup>. Исходя из этого, в качестве оптимальных

условий легирования кремния серой предлагается ограничить максимальное значение  $N_S = 5 \cdot 10^{19}$  атом/см<sup>3</sup>. Следует также отметить, что при значении  $N_S = 5 \cdot 10^{19}$  атом/см<sup>3</sup> выполняется условие легирования из постоянного источника. Таким образом, управляя плотностью атомов диффузанта в ампуле в процессе легирования кремния серой, можно не только существенно снизить эрозию поверхности кремниевых пласти., но и получить компенсированный и перекомпенсированный материал с заданными удельными сопротивлениями. Предлагаемый способ легирования кремния серой достаточно воспроизводим и легче управляем, чем управление процессом легирования путем варьирования температуры. В заключение следует отметить, что имеющиеся в литературе разногласия относительно концентрации электроактивных атомов серы в кремнии [1, 3, 7], вероятнее всего, связано с учетом величины  $N_S$  различными авторами. В связи с этим мы считаем, что без учета величины  $N_S$  сложно получить материал с заданными электрофизическими свойствами.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S c l a r N. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 8. P. 5207-5217.
- [2] Бахадырханов М.К., Аскаров Ш.И., Самигов К.А., Нигмаходжаев С.С., Шарипов Б.З., Парманкулов И.П. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 7. С. 1315-1317.
- [3] Лебедев А.А., Мамадалимов А.Т., Султанов Н.А. // ФТП. 1971. Т. 5. № 1. С. 22-31.
- [4] Савин Э.П. // ФТП. 1979. Т. 13. № 4. С. 833-835.
- [5] K i m C.S., S a k a t a M. // Appl. Phys. 1979. V. 18. N 12. P. 247-254.
- [6] C a r l s o n R.O., H a l l K.N., P e l l E.M. // J. Phys. Chem. Sol. 1959. V. 8. P. 81-83.
- [7] Юнусов М.С., Каримов М. // Изв. АН УзССР, Сер. физ.-мат. наук. 1978. № 2. С. 80-82.

Ташкентский  
государственный  
университет  
им. Беруни

Поступило в Редакцию  
5 января 1992 г.