

Об.1; 11

© 1990

К ВОПРОСУ О ГИДРОФИЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРЯМОМ СРАЩИВАНИИ КРЕМНИЯ

Е.В. Астрова, В.Б. Воронков, И.Б. Грехов,
В.А. Козлов, А.А. Лебедев

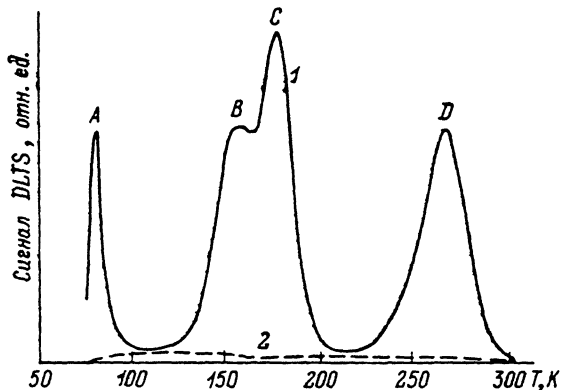
Недавно появился принципиально новый метод создания кремниевых приборов путем прямого сращивания пластин кремния (ПСК) при сравнительно низких температурах — 1000–1100 °С [1–6]. Этот метод значительно расширяет технологические возможности создания $p-n$ переходов и более сложных структур с заданными свойствами.

Метод ПСК основан на том, что перед термообработкой (ТО) полированные пластины кремния подвергаются гидрофилизации, приводящей к образованию на поверхности кремния силанольных групп $Si-OH$. Обработанные таким образом пластины складывают вместе и под нагрузкой или без нее нагревают в атмосфере азота [1, 2, 4–6] или на воздухе [3] в течение нескольких часов в указанном интервале температур. Согласно существующим представлениям [2, 6], сращивание происходит в результате полимеризации силанольных связей между соединяемыми поверхностями



и последующей замены кислородной связи на кремниевую. В результате ПСК образуется монолитный образец с высокими механическими и электрофизическими свойствами.

Одним из распространенных способов получения гидрофильной поверхности является кипячение кремния в серной кислоте с последующей промывкой в проточной деионизированной воде. При этом радикалы OH химически адсорбируются на поверхности кремния. Наши эксперименты показали, что после гидрофилизации в H_2SO_4



Спектр *DLTS* в диоде, полученном методом ПСК. Кривая 1 — при гидрофилизации поверхности с помощью серной кислоты, 2 — при аммиачной гидрофилизации.

и ТО удельное сопротивление ρ *n-Si* снижается от 200–250 до 80–150 Ом·см. Такое падение ρ нельзя объяснить образованием глубоких термодоноров, т.к. их концентрация в полированных пластинах после ТО при 1100°C не превышает 10^{11} см⁻³ [7]. Поэтому после сраживания структуры были исследованы методом *DLTS*. Для контроля спектра глубоких состояний вдали от *p-n* перехода использовали барьер Шоттки, полученный вакуумным напылением золота. Измерения проводились в режиме постоянного напряжения при длительности импульса заполнения 1 мс. Постоянная времени термической эмиссии электронов в максимуме пиков *DLTS* составляла 18.2 мс.

Измерения показали, что как вблизи *p-n* перехода, так и с обратной стороны пластины *n-Si* на спектре появляется 4 глубоких уровня (кривая 1 на рисунке). Параметры этих уровней идентичны тем, что образуются при легировании кремния серой из серной кислоты, нанесенной на поверхность (без последующей промывки), введении S с помощью ионной имплантации или диффузией в ампуле из элементарной серы. Они также хорошо согласуются с полученными в работе [8] энергиями ионизации центров серы А, В, С и D: соответственно 0.18, 0.38, 0.32 и 0.53 эВ от дна зоны проводимости. Концентрация центров серы в структурах, полученных методом ПСК, составляла несколько единиц на 10^{13} см⁻³ что хорошо согласуется с изменениями ρ после термообработки.

Дополнительные опыты с ТО одиночных пластин *n-Si*, прошедших сернокислотную гидрофилизацию поверхности перед ТО, показали, что концентрация уровней серы та же, что и при ПСК, т.е. при гидрофилизации с помощью H_2SO_4 происходит прочная адсорбция соединений серы на поверхности *Si*, и при высокой температуре сера диффундирует на всю толщину кремния.

Глубокие уровни, образующие S в Si , сравнительно слабо влияют на время жизни носителей тока τ из-за малого ($\sim 10^{-20}$ см² при 290 К) сечения захвата дырок [9], но снижают ρ и пробивное напряжение V_{pp} p - n переходов, причем на температурной зависимости $V_{pp}(T)$ при импульсных измерениях наблюдаются участки с $dV_{pp}/dT < 0$, связанные с перезарядкой глубоких уровней [10].

Альтернативным методом гидрофиллизации поверхности является обработка Si в аммиачных растворах [11]. Мы использовали этот способ подготовки поверхности Si и методом ПСК изготовили диоды из p - Si с $\rho = 0.05$ Ом·см и n - Si с $\rho = 200$ -250 Ом·см.

Уменьшение ρ n - Si при этом не происходило. Измерения $DLTS$ показали, что концентрация глубоких уровней в таких диодах не превышала 10^{11} см⁻³ (кривая 2 на рисунке). Диоды имели резкий пробои, а V_{pp} соответствовало расчетным значениям [12]. То утечки 100 мкА при $V = 2.5$ кВ, время жизни дырок, измеренное методом Лэкса, $\tau \approx 50$ мкс при плотности прямого тока $j = 0.6$ А/см².

Таким образом, аммиачная гидрофиллизация перед ПСК позволяет значительно уменьшить концентрацию глубоких центров в готовых структурах, повысить V_{pp} p - n переходов и более перспективна для изготовления мощных приборов методом ПСК, чем гидрофиллизация с помощью H_2SO_4 .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Furukawa K., Shimbo M., Fukuda K., Tanzawa K. Extended Abstracts of the 18th (1986 International) Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1986. P. 533-536.
- [2] Shimbo M., Furukawa K., Fukudo K., Tansawa K. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. N 8. P. 2987-2989.
- [3] Волле В.М., Воронков В.Б., Грехов И.В., Козлов В.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 18. С. 59-63.
- [4] Nakagawa A., Jamaguchi J., Watanable K., Ohashi H., Shimbo M. Extended Abstracts of the 18th (1986 International) Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1986. P. 89-92.
- [5] Ahn K.Y., Stengl R., Tan T.G., Göselle U. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. №2. P. 561-563.
- [6] Lasky J.B. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. №1, P. 78-80.

- [7] Астрова Е.В., Воронков В.Б., Козлов В.А., Лебедев А.А., Экке В. Емкостная спектроскопия дефектов термообработки в кремнии. Препринт № 1161 ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР, Л., 1987.
- [8] Brotherton S.D., King M.J., Parker G.J. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 7. 1981. P. 4649-4658.
- [9] Kleverman M., Grimmeiss H.G. // Phys. Rev. B. 1985. V. 31. N° 6. P. 3659-3666.
- [10] Астрова Е.В., Волле В.М., Воронков В.Б., Козлов В.А., Лебедев А.А. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 11. С. 2122-2125.
- [11] Stengl R., Ahn K.-J., Gösselle U. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 12. P. 2364-2366.
- [12] Sze S.M., Gibbons G. // Appl. Phys. Lett. 1966. V. 8. N° 5. P. 111-113.

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

Поступило в Редакцию
29 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4

26 февраля 1990 г.

07

© 1990

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ОБРАЩЕНИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА В СИСТЕМЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО/КРИСТАЛЛ

А.В. Воляр, Н.В. Кухтарев, Л.М. Кучикян,
С.Н. Лапаева, В.В. Муравьев

Использование системы оптическое волокно – фоторефрактивный кристалл как датчика физических величин (например, в гироскопах [1, 2]) раскрывает широкие перспективы высокоточных устройств. Однако фоторефрактивные кристаллы, как правило, имеют различную эффективность обращения волнового фронта (ОВФ) для различных ориентаций линейных поляризаций падающего пучка. Эта задача решалась либо использованием двух кристаллов с предварительным разделением частично поляризованного пучка на ортогонально линейно-поляризованные [3], либо подбором типа кристалла и геометрии эксперимента [4].