

05;06;12

РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРЯМОСРАЩЕННЫХ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР С РЕГУЛЯРНЫМ РЕЛЬЕФОМ НА ИНТЕРФЕЙСЕ

© *И.В.Грезов, Л.С.Берман, Т.С.Аргунова,
Л.С.Костина, Е.И.Белякова, Т.В.Кудрявцева,
Е.Д.Ким, С.Ч.Ким, Д.М.Пак*

Исследовано влияние регулярного рельефа на интерфейсе прямо-сращенных кремниевых структур на их рекомбинационные свойства и энергетические спектры плотности состояний глубоководных центров. Нанесение регулярного рельефа позволило увеличить время жизни неосновных носителей заряда более чем на порядок и в несколько раз уменьшить концентрацию глубоководных центров.

Технология прямого сращивания кремния (ПСК) перспективна для создания ряда полупроводниковых приборов [1-4]. Однако при ПСК на границе раздела (ГР) пластин образуются структурные дефекты, ухудшающие параметры полупроводниковых приборов [5-7]. В работах [8-9] было показано, что нанесение на одну из сращиваемых пластин регулярного рельефа в виде ортогональной сетки канавок глубиной 0.2-0.5 мкм позволяет существенно улучшить структурное совершенство пластин, в частности уменьшить плотность дислокаций на ГР и в объеме пластин и, таким образом, открывает новые возможности применения технологии ПСК для разработки ряда полупроводниковых приборов [9-10].

В настоящей работе исследовалось влияние регулярного рельефа на интерфейсе прямосращенных кремниевых структур на их рекомбинационные свойства. *p-n*-диоды изготавливались путем сращивания зеркально полированных *FZ* кремниевых пластин *p*-типа проводимости с $\rho_v = 20 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и *n*-типа проводимости с $\rho_v = 80 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Регулярный рельеф, представляющий собой ортогональную сетку канавок шириной 50 мкм, глубиной 0.2-0.5 мкм с расстоянием между ними 200 мкм, формировался на поверхности одной из пластин фотолитографическим методом. Перед сращиванием обе пластины (с рельефом и без него) подвергались стандартной процедуре отмывки и гидрофилизации [11] с последующей промывкой в деионизованной (DI) воде с $\rho_v \approx 18 \text{ М}\cdot\text{см}$. Прямое соединение пластин осуществлялось в воде с последующей сушкой на центрифуге и термообработкой сначала

при 95°C в течение 4 ч и затем при 1000°C (1 ч) и 1150°C (2 ч). После отжига смещение p - n -перехода в область n (по расчету, без учета влияния границы раздела на диффузию) составляло величину $x_j \approx 2$ мкм.

Вольт-фарадные характеристики (ВФХ) и сигналы DLTS измерялись на автоматизированной установке, описанной в работе [12]. Сигналы DLTS измерялись после переключения от меньшего обратного напряжения к большему. Энергетический спектр плотности состояний определялся согласно теории, изложенной в работах [13,14].

Время жизни неосновных носителей (дырок) в базе τ_p измерялось методом Лэкса.

Результаты измерений и их обсуждение

В образцах без рельефа имеем $\tau_p = 3$ –4 мкс, в образцах с рельефом $\tau_p = 50$ –70 мкс. Для образцов с рельефом ВФХ в координатах $(C/A)^2$, V представляют собой прямые линии (C , A — емкость и площадь образца соответственно). По наклону прямых определялась концентрация ио-

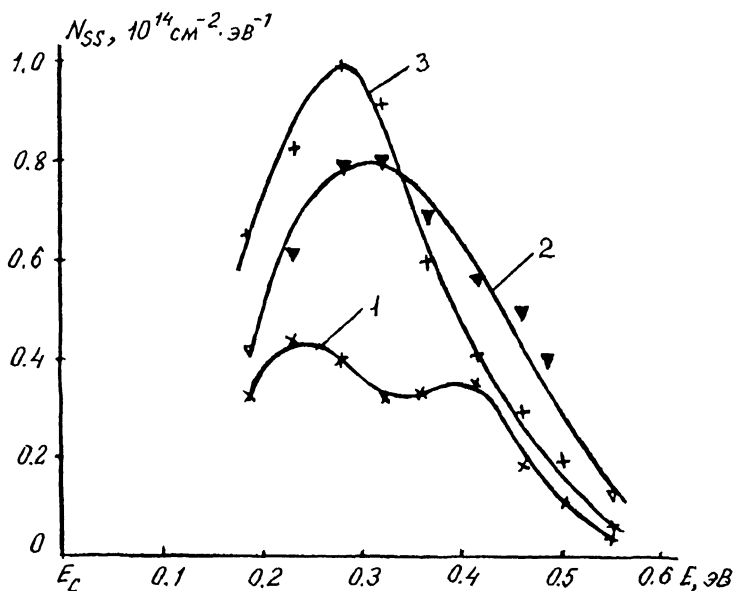


Рис. 1. Образец без регулярного рельефа. Энергетический спектр плотности состояний. Расстояние от p^+ - n -перехода: 1 — 2.4–6.4 мкм; 2 — 6.2–8.6 мкм; 3 — 8.2–10.0 мкм.

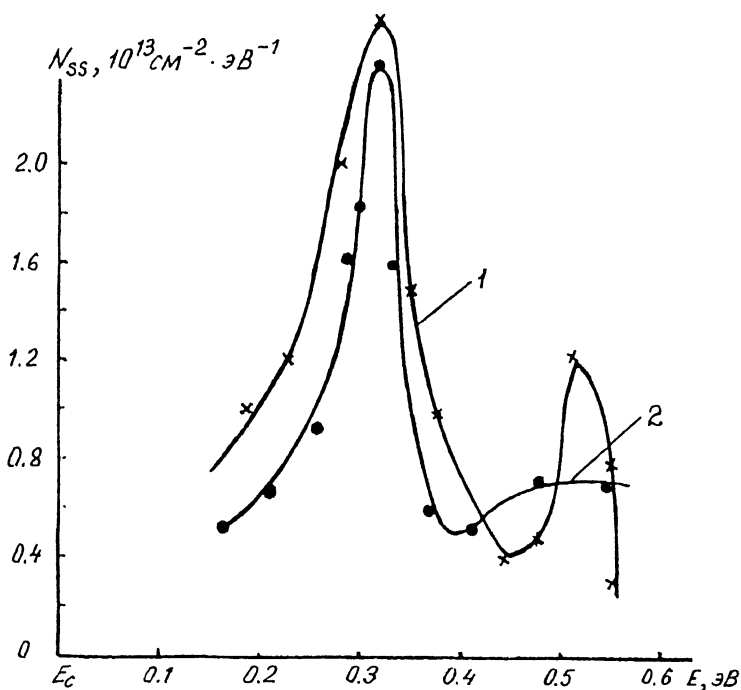


Рис. 2. Образец с регулярным рельефом. Энергетический спектр плотности состояний. Расстояние от p^+ - n -перехода: 1 — 4–16 мкм; 2 — 18–24 мкм.

низованных примесей в области объемного заряда (003) $N_i = 6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Эта концентрация близка к концентрации доноров в n -Si при $\rho_v = 80 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ [15, т.1, с.38], т. е. выполняются неравенство $N_i \ll N_d$ и приближенное равенство $N_i \approx N_d$, где N_t , N_d — концентрация глубокоуровневых центров (ГУЦ) и мелкой (легирующей) примеси в базе соответственно. Для образцов без рельефа ВФХ в координатах $(C/A)^2$, V — не прямая; это означает, что концентрация ГУЦ соизмерима с концентрацией мелкой примеси.

Для всех образцов характерен сплошной спектр сигналов DLLTS; он соответствует сплошному спектру энергетических уровней в верхней половине запрещенной зоны; это указывает на наличие сплошных структурных дефектов в базе диода. В сигналах DLTS не обнаружено узких пиков, соответствующих дискретным энергетическим уровням (например, серы, золота, дефектов термообработки и др.).

На рис. 1 приведены энергетические спектры плотности состояний ГУЦ в базе на различных расстояниях от

p - n -перехода для образцов без регулярного рельефа на интерфейсе. Вблизи середины запрещенной зоны плотность состояний слабо зависит от координаты, однако плотность состояний дефектов с мелкими уровнями несколько возрастает в глубь базы. По-видимому, дефекты проникают от границы раздела в базу. Для образцов с регулярным рельефом на интерфейсе также характерны сплошной спектр сигналов DLTS (рис. 2) и сплошные структурные дефекты в базе, однако плотности состояний этих дефектов в несколько раз меньше, чем в образцах без рельефа (сравним рис. 1 и 2). Плотность состояний в этом случае слабо зависит от координаты. Концентрация ГУЦ с энергиями в верхней половине запрещенной зоны N_t составляет величину порядка 10^{12} см^{-3} . При $\tau_p = 50 \text{ мкс}$ такая концентрация соответствует сечению захвата дырки σ_p порядка 10^{-15} см^2 , т. е. эти ГУЦ являются более слабыми рекомбинационными центрами, чем золото или дефекты термообработки [16].

Таким образом, нанесение регулярного рельефа на одну из прямосращенных пластин позволяет более чем на порядок увеличить время жизни неосновных носителей заряда и в несколько раз уменьшить концентрацию глубокоуровневых центров.

Список литературы

- [1] Shimbo M., Furukawa K., Fukuda K., Tanzawa K. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. N 8. P. 2987-2989.
- [2] Atsuta M., Ogura T., Nakagawa A., Ohashi H. // Extended Abstracts. 19th conf. Solid State Dev. and Mater. Tokyo, 1989. P. 47..
- [3] Lasky J.B. // Appl. Phys. lett. 1986. V. 48. N 1. P. 78-80.
- [4] Ohura J., Tsukakoshi T., Fukuda K., Shimbo M., Ohashi H. // IEEE Elect. Dev. Lett. 1987. V. EDL-8. P. 454-456.
- [5] Bengtsson S., Engstrom O. // J. Appl. Phys. 1989. V. 66. N 3. P. 1231-1239.
- [6] Yen C.-F., Hwangleu S. // Jpn. J. Appl. Phys. Pt. 1. 1992. V. 31. N 5A. P. 1535-1540.
- [7] Bengtsson S. // J. Electron. Mater. 1992. V. 21. N 8. P. 841-862.
- [8] Kim E.D., Kim S.C., Park J.M., Grekhov I.V., Argunova T.S., Kostina L.S., Kudriavtzeva T.V. // J. Electronics Letters. 1995. V. 31. N 20. P. 24-27.
- [9] Аргунова Т.С., Андреева А.Г., Велякова Е.И., Грегов И.В., Костина Л.С., Кудрявцева Т.В. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 4. С. 1-11.
- [10] Grekhov I.V., Kostina L.S., Beliakova E.I., Rolnik I.A. // Proc. of the ISPSD. Davos. Switzerland. May 31-June 2, 1994. P. 233-235.
- [11] Kern W., Puotinen D.A. // RCA Rev. 1970. V. 31. P. 187.
- [12] Берман Л.С., Ременюк А.Д., Толстобров М.Г. Универсальная измерительная установка для емкостной спектроскопии полупроводников, автоматизированная на основе цифровой техники. Препринт ФТИ № 974. 1985. 25 с.
- [13] Берман Л.С. // Физ. техн. полупр. 1980. Т. 14. № 3. С. 588-590.

- [14] Берман Л.С., Жмерик В.Н., Ременюк А.Д., Толстобров М.Г. // Физ. техн. полупр. 1981. Т. 15. N 5. С. 1844-1847.
- [15] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М., 1984. Т. 1. 456 с.
- [16] Sah C.T., Wang C.T. // J. Appl. Phys. 1975. V. 46. N 4. P. 1767.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе РАН
С.-Петербург
Korea Electrotechnology
Research Institute

Поступило в Редакцию
4 октября 1996 г.

