

цессе выращивания) наличие никеля в кремнии способствует существенному давлению термодоноров, образующихся при 450 °С.

Кинетика образования и природа термодоноров в исходном монокристаллическом кремнии достаточно подробно изучены теоретически и экспериментально [3, 4]. При этом однозначно установлено, что эти термодоноры связаны с образованием кремний-кислородных комплексов типа SiO_1 , т. е. основным источником термодоноров в этой области температур являются междоузельные атомы кислорода.

Поэтому можно предположить, что отсутствие термодоноров в кремнии, легированном никелем, может быть обусловлено взаимодействием атомов кислорода с никелем. В процессе термообработки атомы никеля, по-видимому, активно взаимодействуют с кислородом, частично исключая его из участия в реакциях образования термодоноров.

Авторы благодарят Ю. А. Карпова за помощь в изготовлении образцов.

Список литературы

- [1] Бахадырханов М. К., Тешабаев А. Т., Зайнабдинов С., Ходжаева М. А. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 4. С. 1004—1004.
- [2] Бахадырханов М. К., Талипов Ф. М., Султанова Н. В. // ДАН УзССР. 1983. В. 1. С. 29—30.
- [3] Глинчук К. Д., Литовченко Н. М., Меркер А. // Полупроводн. техн. и микроэлектрон. 1977. № 25. С. 17—31.
- [4] Машовец Т. В. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 1. С. 3—18.

Ташкентский государственный университет им. В. И. Ленина

Получено 14.05.1990
Принято к печати 15.08.1990

ФТП, том 24, вып. 12, 1990

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ НА РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЗОЛОТА В Si

Грехов И. В., Делимова Л. А., Шубников М. Л.

Как сообщалось в [1], в $\text{Si } p^+ - n - n^+$ -диодах под действием гидростатического сжатия время жизни неосновных носителей заряда τ_p заметно уменьшается (в ~ 2 раза при давлении в 29 кбар), если оно контролируется глубокими

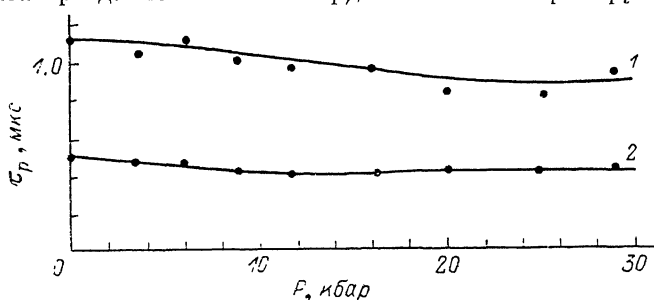


Рис. 1. Зависимость времени жизни носителей заряда в базе τ_p от величины давления P при гидростатическом сжатии для двух структур.

Концентрация золота, см^{-2} : 1 — $3.2 \cdot 10^{14}$, 2 — $6 \cdot 10^{12}$.

уровнями дефектов термообработки (ДТО). В Si уровень ДТО и акцепторный уровень Au имеют близкие значения энергий ионизации и сечения захвата носителей [2, 3], и можно ожидать, что под действием гидростатического сжатия время жизни носителей, рекомбинирующих через уровень Au, также будет

уменьшаться. Целью работы явилась экспериментальная проверка этого предположения.

Структуры $p^+ - n - n^+$ изготавливались из бестигельного n -Si с удельным сопротивлением $\rho \sim 40$ Ом·см по стандартной диффузионной технологии с использованием В и Р в качестве легирующей примеси. Диаметр структур составлял ~ 4 мм, ширина базовой области $W \approx 200 \div 300$ мкм, глубина залегания $p^+ - n$ -перехода ~ 50 мкм, время жизни носителей в базовой области $\tau_p \approx 70$ мкс. В изготовленные таким образом структуры проводилась диффузия золота.

Время жизни измерялось методом Лекса [4] при плотностях прямого и обратного токов $j \sim 10^{-2}$ А/см², соответствовавших низкому уровню инжекции.

Это означает, что измеряемая величина времени жизни соответствует значению

$$\tau_{p0} = 1/v_i \tau_p N_i, \quad (1)$$

введенному в модель Шокли—Рида [5] как время жизни дырок, рекомбинирующих через глубокий уровень в условиях избытка электронов; здесь N_i — концентрация глубокого уровня, σ_p — сечение захвата дырки на уровень Au, v_i — тепловая скорость носителя.

Одновременно с временем жизни измерялась прямая ветвь вольт-амперной характеристики (ВАХ). Чтобы исключить разогрев структуры, измерения проводились на прямоугольных импульсах длительностью ~ 10 мкс с частотой ~ 150 Гц и амплитудой до 30 А.

Гидростатическое сжатие образцов осуществлялось в камере высокого давления, описанной в [6]. Образец помещался в рабочий объем камеры, имеющий форму цилиндра с размерами $\varnothing 6 \times 10$ мм. В качестве жидкости, передающей давление в рабочий объем камеры, использовался n -пентан. Конструкция камеры позволяла фиксировать давление любой величины в диапазоне $P = 0 \div 30$ кбар.

На рис. 1 приведены зависимости τ_p от величины давления P при гидростатическом сжатии для структур 1 и 2, имеющих концентрацию Au соответственно

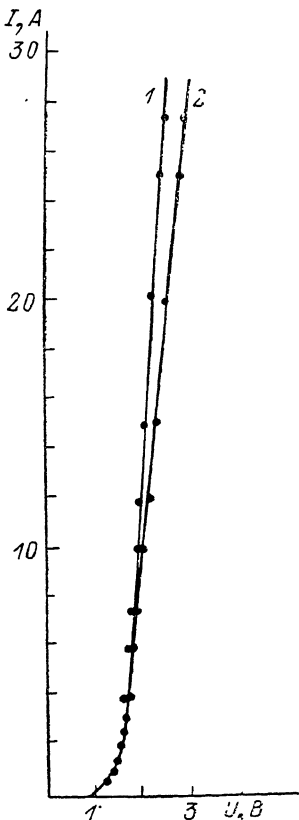


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика для структуры 2. P , кбар: 1 — 0, 2 — 29.

$3.2 \cdot 10^{13}$ и $6 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Полагая, что носители рекомбинируют через акцепторный уровень Au и что $v_i = 10^7$ см/с, $\sigma_p = 2.5 \cdot 10^{-15}$ см² [3], находим из (1) значения $\tau_{p0} = 1.2$ и 0.67 мкс для структур 1 и 2 соответственно. Эти значения находятся в разумном согласии с приведенными на рис. 1 величинами τ_p в отсутствие сжатия ($P = 0$). Под действием гидростатического сжатия время жизни меняется очень слабо, уменьшаясь всего на 20 % при $P = 20$ кбар.

На рис. 2 приведены вольт-амперные характеристики для структуры 2 в отсутствие гидростатического сжатия при $P = 0$ (кривая 1) и при максимальном сжатии $P = 29$ кбар (кривая 2). Расчет ВАХ, проведенный по формуле (3) работы [7] с учетом уменьшения коэффициентов инжекции и электронно-дырочного рассеяния, согласуется с экспериментом. При расчете полагалось, что ширина базовой области $W = 220$ мкм, плотность тока насыщения в эмиттерных слоях $j_s = 10^{-13}$ А/см²; для давления $P = 29$ кбар учитывалось изменение концентрации собственных носителей вследствие сужения ширины запрещенной зоны со скоростью $dE_g/dP = -1.5$ мэВ/кбар [8]. Так как $W/\sqrt{D\tau_p} \sim 7$ ($D = 19$ см²/с — коэффициент амбиполярной диффузии носителей), то основное падение напряжения U на структуре приходится на базовую область. Незначи-

тельное (на ~ 0.5 В) увеличение U с ростом давления вплоть до $P=29$ кбар, наблюдаемое на рис. 2, вполне согласуется со слабым уменьшением τ_p на рис. 1.

Таким образом, из полученных результатов следует, что в n -кремнии время жизни носителей, рекомбинирующих через акцепторный уровень Ас, практически не меняется под действием гидростатического сжатия вплоть до давлений ~ 29 кбар.

Уровень золота, смещаясь под действием сжатия со скоростью $dE/dP = -2.6$ мэВ/кбар [9], во всем диапазоне давлений лежит гораздо ниже уровня Ферми. Поэтому, согласно модели [3], его смещение не может вызвать изменения в величине времени жизни. Как сообщалось в [9], сечение захвата электрона на уровень Ас не меняется при гидростатическом сжатии. Таким образом, слабое изменение τ_p во всем диапазоне приложенных давлений свидетельствует о том, что сечение захвата дырки на акцепторный уровень Ас также не зависит от давления при гидростатическом сжатии.

Интересно отметить, что в условиях гидростатического сжатия рекомбинационные свойства акцепторного уровня Ас и дефектов термообработки [1] оказываются совершенно различными, несмотря на очень близкие значения положений уровня и сечений захвата носителей. Вопрос о природе этих центров до сих пор дискутируется [3, 9]. Различия их рекомбинационных свойств, по-видимому, связаны с различием характера изменений при гидростатическом сжатии короткодействующего потенциала центра, дающего вклад в сечение захвата носителей.

Список литературы

- [1] Горбатов А. В., Грехов И. В., Делимова Л. А., Шубников М. Л. // Письма ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 21. С. 1288—1293.
- [2] Берман Л. С., Лебедев А. А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л., 1981. 176 с.
- [3] Mesli A., Courcelle E., Zundel T., Siffert P. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 15. P. 8049—8062.
- [4] Lax V., Neustader S. A. // J. Appl. Phys. 1954. V. 25. P. 1148—1154.
- [5] Shockley W., Read W. T. // Phys. Rev. 1952. V. 87. N 5. P. 835—842.
- [6] Шубников М. Л. // ПТЭ. 1981. № 5. С. 178—181.
- [7] Кузьмин В. А., Мнацаканов Т. Т., Шуман В. Б. // Письма ЖТФ. 1980. Т. 6. В. 11. С. 689—693.
- [8] Paul W., Warschauer D. M. // J. Phys. Chem. Sol. 1958. V. 5. P. 102—106.
- [9] Samara G. A., Barnes C. E. // Phys. Rev. B. Cond. Matter. 1987. V. 35. N 14. P. 7575—7584.

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

Получено 16.05.1990
Принято к печати 15.08.1990

ФТП, том 24, вып. 12, 1990

ЭЛЕКТРОННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ПОЛУПРОВОДНИК—ПОЛУМЕТАЛЛ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ У ТОНКИХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕЙ СПЛАВОВ Bi—Sb

Гицу Д. В., Долма В. А., Мунтяну Ф. М., Пономарев Я. Г.

Сплавы $Bi_{1-x}Sb_x$ являются твердыми растворами замещения во всем интервале составов $0 \leq x \leq 1$. С ростом x происходит перестройка зонной структуры сплавов $Bi_{1-x}Sb_x$, сопровождающаяся инверсией зон в L при $x \approx 0.04$ [1, 2], переходом полуметалл—полупроводник при $x \approx 0.07$ [из-за снятия перекрытия зоны проводимости (терм L_a) и валентной зоны (терм T_{45}^*) | 2] и переходом полупроводник—полуметалл при $x \approx 0.22$ [2]. В сплавах с $x \geq 0.22$ зона проводимо-