

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ SiC-6H ПОЛЕВОЙ
ТРАНЗИСТОР С р-п-ЗАТВОРОМ

В.А. Дмитриев, П.А. Иванов,
Н.Д. Ильинская, А.Л. Сыркин,
Б.В. Царенков, В.Е. Челнок,
А.Е. Черенков

В данной работе сообщается о SiC-6H полевом транзисторе (меза-эпитаксиальном, п-канальном, с р-п-затвором), свойства которого соответствуют модели длинноканального полевого транзистора Шокли в интервале температур 20-500 °С.

1. Первое сообщение о карбидкремниевом полевом транзисторе (ПТ) появилось в 1961 г., его детальное описание дано в работе [1]. ПТ был изготовлен на основе SiC политипа 6H; п-канал располагался между двумя р-п-затворами; затворные р-п-переходы и канал формировались двухсторонней диффузией алюминия (акцептора) в пластину п-SiC-6H.

В 1977 г. появилась работа по SiC-6H ПТ с поверхностно-барьерным затвором [2] (его свойства подробнее описаны в [3]); каналом служил слой п-SiC-6H, выращенный жидкостной эпитаксией высокоомной р-SiC-6H подложке.

В 1986 г. было сообщено о SiC-6H ПТ (п-канальном, с р-п-затвором), в котором р-п-структура изготавливалась методом бесконтейнерной жидкостной эпитаксии [4].

Из четырех известных нам публикаций по SiC-6H ПТ [1-4] выходные характеристики приведены только в [1, 2]: в [1] - вплоть до 500 °С, а в [2] - лишь при комнатной температуре.

С 1986 г. начали появляться публикации по SiC-3C ПТ (п-канальном, с МОП-затвором) [5, 6]; слой SiC-3C выращивались на Si подложках газотранспортной эпитаксией. Выходные

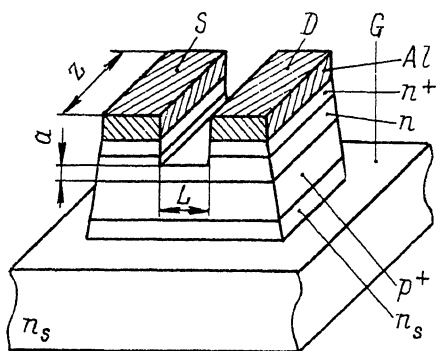


Рис. 1. Структура SiC-6H полевого транзистора.

характеристики SiC-3C ПТ в [5] даны при комнатной температуре, а в [6] - до 400 °С.

2. Представляемый в данной работе ПТ (рис. 1) сформирован на основе трехслойной p⁺-п-п⁺-структуры, изготовленной методом бесконтейнерной жидкостной эпитак-

сии [7].

Структура выращивалась на (0001) Si-границе p-SiC-6H подложки, изготовленной методом Лели, с концентрацией нескомпенсированных доноров $N_d - N_a = (1-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Слой p⁺ был легирован алюминием до концентрации дырок порядка 10^{19} см^{-3} (300 К); толщина p⁺-слоя 20-30 мкм.

Следующий п-слой специально не легировался, остаточная концентрация нескомпенсированных доноров $N_d - N_a = (3-7) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; толщина этого слоя 1-5 мкм.

Слой п⁺ был легирован азотом до концентрации $N_d - N_a = 10^{19} - 10^{20} \text{ см}^{-3}$; толщина п⁺-слоя 1-3 мкм.

На пластине с трехслойной p⁺-п-п⁺-структурой методами фотолитографии и реактивного ионно-плазменного травления [8] были сформированы отдельные меза-транзисторы площадью 400x400 мкм² и высотой 20-40 мкм. Геометрические параметры канала: толщина $\alpha \approx 0,3$ мкм, длина $L \approx 20$ мкм, ширина $z = 400$ мкм.

Для контактов к истоку S и стоку D использовался алюминий, электрод затвора G приваривался к n_s-подложке. Затвором служит p⁺-п-переход, ширина слоя объемного заряда которого при нулевом смещении $W_0 \approx 0,1$ мкм. Напряжение затвор-исток V_G подается с электрода G через прямосмещенный p_s-p⁺-переход.

3. Характеристики ток стока I_D - напряжение и сток - сток V_D при разных V_G , измеренные на постоянном токе в интервале 20-500 °С, имеют классический для длинноканального ($L \gg \alpha$) и нормально открытого ($\alpha > W_0$) п-канального ПТ вид с выраженным насыщением тока I_D , управляемого отрицательным напряжением на затворе V_G (статические выходные характеристики и электрические параметры одного из транзисторов представлены на рис. 2 и в таблице).

Крутизна транзистора $g_m = \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_G} \right)_{V_D = \text{const}}$ в области насыщения тока I_D практически равна проводимости канала $g_D = \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_D} \right)_{V_G = \text{const}}$ при $V_D \rightarrow 0$ для всех T и V_G ; это соответствует одному из главных выводов теории длинноканального ПТ Шокли [9].

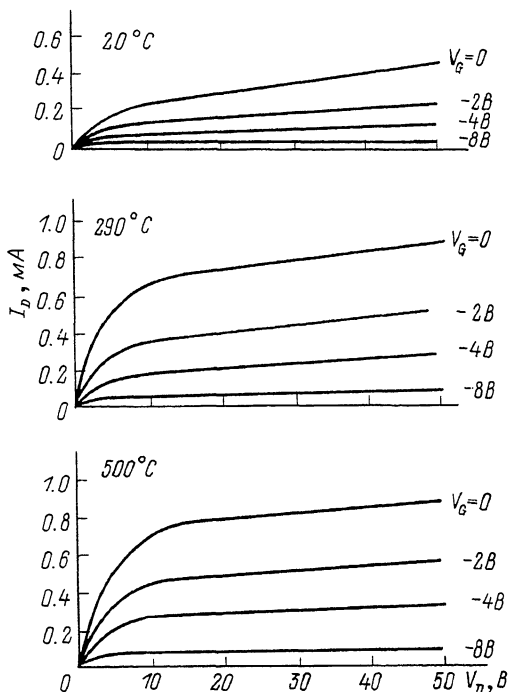


Рис. 2. Выходные характеристики SiC-8N полевого транзистора.

Параметр ПТ	Ед.изм.	Температура		
		20 °C	290 °C	500 °C
Крутизна g_m при $V_D = 50$ В, $V_G = 0$	мА/В	0.12	0.20	0.18
Ток стока I_D при $V_D = 50$ В, $V_G = 0$	мА	0.45	0.90	0.90
Напряжение отсечки V_p	В	10	12	14
Внутреннее сопротивление R_i при $V_G = 0$	кОм	250	250	300

Проводимость канала $g_D (V_D \rightarrow 0)$ (и крутизна g_m , и ток I_D) с ростом температуры увеличивается примерно в два раза в интервале $T = 20-300$ °С, а затем меняется слабо. Возрастание проводимости $g_D (V_D \rightarrow 0)$ с ростом T происходит за счет увеличения концентрации свободных электронов в канале вследствие термоионизации атомов азота, имеющих в SiC - δn энергию около 0.1 эВ.

Напряжение отсечки канала V_p (оно полагалось равным V_G , при котором I_D в области насыщения составляет 0.02 от I_D при $V_G = 0$), а также внутреннее сопротивление транзистора $R_i = \frac{\partial V_D}{\partial I_D}$ в области насыщения тока I_D слабо растут с температурой.

Отметим, что для представленных в [1] ПТ ток I_D и крутизна g_m с ростом T уменьшались во всем интервале $T = 20-500$ °С.

Авторы выражают благодарность И.Д. Коваленко, Т.П. Самсоновой и Л.Н. Шестопаловой за содействие при выполнении этой работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Campbell R.B., Chang H.C. In: Semiconductors and Semimetals, 1970, v. 78, p. 663-671.
- [2] Muench V.W., Hoessk P., Pette n-
paul E. In: Proceedings of the International
Electronic Device Meeting, Washington, 1977,
p. 337.
- [3] Muench V.W., Ziegler G., Pette n-
paul E. In: Proceedings of the 9-th European
Solid State Device Research Conference, Munich,
1979, p. 21-35.
- [4] Аникин М.М., Дмитриев В.А., Иванов П.А.,
Лебедев А.А., Морозенко Я.В., Попов И.В.,
Стрельчук А.М., Суворов А.В., Сыркин А.Л.,
Челноков В.Е. Тезисы докладов Ш Всесоюзного совеща-
ния „Физика и технология широкозонных полупроводников“,
Махачкала, 1986, с. 97-98.
- [5] Shibahara K., Saito T., Nishi-
no S., Matsunami H. In: Extended
Abstracts of the 18-th International Conference on
Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1986,
p. 717-718.
- [6] Kondo Y., Takahashi T., Ishii K.,
Hayashi Y., Sakuma E., Misawa S.,
Daimon H., Yamana M., Yoshida S. - Jap. J. of Appl. Phys., 1987, v. 26, N 2,
p. 310-311.
- [7] Дмитриев В.А., Иванов П.А., Коркини И.В.,
Морозенко Я.В., Попов И.В., Сидорова Т.А.,
Стрельчук А.М., Челноков В.Е. - Письма в
ЖТФ, 1985, т. 11, в. 4, с. 238-241.

[8] Попов И.В., Сыркин А.Л., Челноков В.Е. — Письма в ЖТФ, 1985, т. 12, в. 4, с. 240-243.

[9] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, т. 1, 1984, 455 с.

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

Поступило в Редакцию
11 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 4

26 февраля 1988 г.

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕТОДОМ ЯМР МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В МОНОКРИСТАЛЛЕ $YFeO_3$

А.М. Балбашов, А.В. Залесский,
В.Г. Кривенко, Е.В. Синицын

Изучение ядерного спинового эха в кристалле $YFeO_3$, выращенном методом бестигельной зонной плавки с радиационным нагревом с обогащением по изотопу Fe^{57} до 96.6%, привело к обнаружению ряда новых особенностей в спектрах ЯМР при низких температурах. Обсуждению этих особенностей и посвящена данная работа.

В указанном кристалле наблюдаются следующие типы спектров ЯМР, отличающиеся природой своего происхождения и условиями возбуждения.

Во-первых, спектр от ядер Fe^{57} в подвижных доменных границах (ДГ). Именно такой спектр изучался ранее в $YFeO_3$ стационарной методикой [1] и методом спинового эха [2]. Для данного кристалла спектр от ядер в ДГ при 4.2 К показан на рис. 1 (обозначен цифрой 1). Он наблюдается при малых напряженностях радиочастотного поля $H_1 \approx 10^{-3}$ Э, параллельного оси c кристалла, и коротких (1-2 мкс) импульсах почти равной длительности. Времена спин-решеточной (T_1) и спин-спиновой (T_2) релаксаций для ядер в ДГ при 4.2 К соответственно равны 25-27 мс и 0.8-0.9 мс. Спектр исчезает в постоянном магнитном поле $H \parallel c$ 60-80 Э, переводящем кристалл в монодоменное состояние. После выключения такого поля спектр не восстанавливается (кристалл остается монодоменным). Восстановить доменную структуру и сигнал эха можно циклическим размагничиванием.

Во-вторых, обогащение позволило изучить ЯМР от ядер Fe^{57} в глубине доменов (рис. 1, линия 2). В необогащенных кристаллах „доменная“ линия ранее не наблюдалась из-за низкого коэффициента усиления для внутридоменных ядер. Линия 2 чрезвычайно узкая (~ 40 кГц) и расположена на частотах 76.06 и 75.83 МГц при