

06.2
©1994

SiC ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С МАЛЫМ ПОРОГОВЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

*М.М.Аникин, А.А.Лебедев, М.Г.Расстегаева,
Н.С.Савкина, А.М.Стрельчук, А.Л.Сыржин, В.Е.Челноков*

На основе 6H-SiC p^+-n эпитаксиальной структуры сформирован n -канальный полевой транзистор (ПТ) с затвором в виде p^+-n перехода, сочетающий большие величины тока стока и крутизны с малыми напряжениями отсечки.

Подложками служили пластины, вырезанные из монокристаллов 6H-SiC, полученных методом Лэли. Концентрация некомпенсированных доноров в подложке $N_d - N_a \sim 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. На грани (0001)Si подложки выращивался эпитаксиальный p^+ -слой толщиной 10–20 мкм, легированный алюминием до концентрации $N_a - N_d \sim (1-5) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. На p^+ -слое выращивался n -слой толщиной около 1 мкм с концентрацией $N_d - N_a \sim 6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Эпитаксиальные p - и n -слои получены сублимацией в открытой ростовой системе [1]. Структура и последовательность изготовления транзистора аналогичны описанным в работе [2].

Длина канала ПТ $L = 5$, ширина канала $Z = 800$ мкм. Требуемая толщина канала достигалась реактивным ионно-плазменным травлением в плазме SF_6 .

Вольт-фарадная характеристика p^+-n перехода линейна в координатах $C^{-2} - U$ ($U_{\text{отс}} = 2.65 \text{ В}$), что свидетельствует об однородном легировании канала по толщине.

Выходные характеристики $I_d - U_{ds}$ при разных напряжениях затвор-исток U_{gs} при комнатной температуре и 400°С для одной из структур приведены на рис. 1.

При комнатной температуре ток стока I_d варьируется для разных структур в пределах 25–40 мА при $U_{gs} = +2$ и 20 В и в пределах 8–20 мА при $U_{gs} = 0$ В. Ток утечки затвора I_g при $U_{ds} = 0$ и -20 В не более 10^{-4} А, а в лучших структурах не превышает 10^{-6} А. Крутизна g при $U_{gs} = +2$ В достигает значений $g \sim 10 \text{ мА/В}$ (12 мСм/мм). Пороговое напряжение U_t в рассматриваемых структурах 2.5–6 В, при этом ширина слоя объемного заряда (СОЗ) $p-n$ перехода, примерно соответствующая толщине канала "а", равна 0.09–0.12 мкм (рис. 2, а).

С увеличением температуры до $\sim 200^\circ \text{С}$ ток стока и крутизна увеличиваются, при дальнейшем нагреве — уменьша-

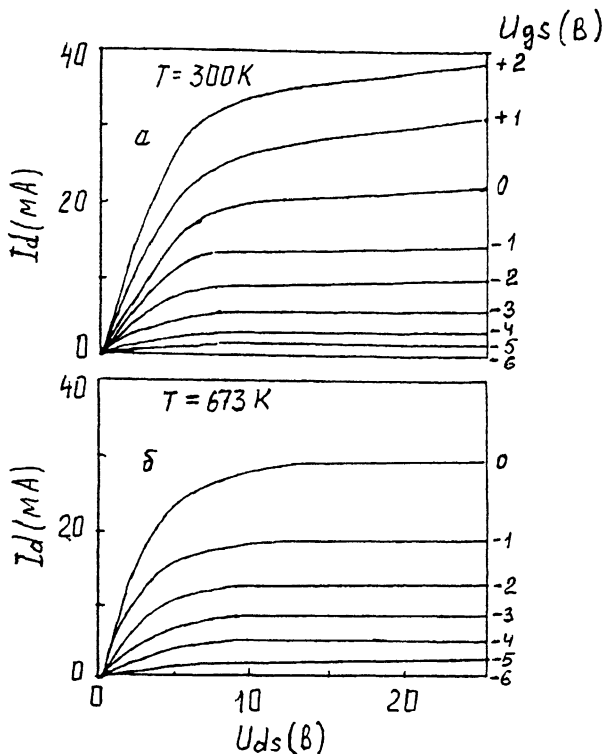


Рис. 1. Выходные характеристики 6H-SiC ПТ при двух температурах.

ются (рис. 2, б). Пороговое напряжение изменяется незначительно.

Представленные транзисторы являются длинноканальными ($L/a \sim 50$). Максимальное значение крутизны для такого транзистора $g_{\max} = qn\mu Z/L$ [3]. В данном случае $n\mu \sim 4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-1} \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Полагая $n \sim 0.3(N_d - N_a)$, получим $\mu \sim 160 - 200 \text{ см}^2/\text{Вс}$. Немонотонная температурная зависимость I_d (рис. 2, б) при температурах выше комнатной связана с достаточно большой глубиной (0.1–0.15 эВ) основной донорной примеси азота и неполной ее ионизацией при комнатной температуре, а также, возможно, свидетельствует о некоторой компенсации n -слоя (с технической точки зрения этот эффект выгоден, так как позволяет получить более температурно стабильные характеристики ПТ).

Рассмотренный ПТ характеризуется большей крутизной и меньшими пороговыми напряжениями, чем ранее изготов-

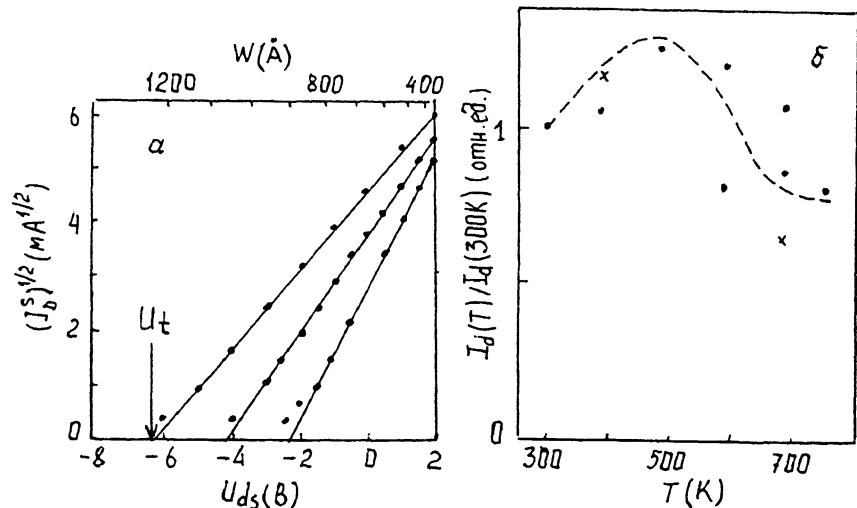


Рис. 2. *a* — зависимость тока стока I_d от напряжения на затворе U_{gs} и ширины слоя объемного заряда p - n перехода W для различных ПТ при комнатной температуре; *b* — зависимость тока стока от температуры, $U_{gs} = 0$ В.

ленный по аналогичной технологии [4] (7 мСм/мм и 18 В соответственно).

Следует обратить внимание на возможность получения сублимационной эпитаксией тонких эпитаксиальных слоев, обладающих высокой планарностью. Данное обстоятельство позволяет ставить задачу создания ПТ с лучшими характеристиками на более сильнолегированных слоях, т. е. эффективнее использовать такое достоинство карбида кремния, как высокие напряженности поля пробоя [5].

Другой способ улучшения выходных характеристик ПТ — использование политипа 4Н-SiC, подвижность электронов в котором в 2-3 раза больше, чем в 6Н-SiC. На рис. 3 представлены выходные характеристики первого 4Н-SiC ПТ, изготовленного на подложке, полученной методом Лэли. Длина канала 4Н-SiC ПТ 9-10, ширина 750 мкм, концентрация $N_d - N_a$ в n -канале $7 \cdot 10^{17}$ см⁻³.

Авторы благодарят П.А.Иванова за полезное обсуждение.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства обороны США.

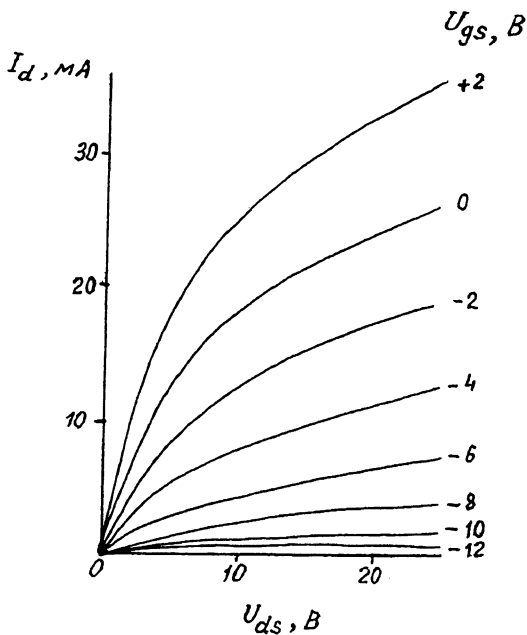


Рис. 3. Выходные характеристики 4H-SiC ПТ при комнатной температуре.

Список литературы

- [1] Аникин М.М., Гусева Н.В., Дмитриев В.А., Сыркин А.Л. // Изв. АН СССР. Сер. Неорг. мат. 1984. Т. 20. С. 1768.
- [2] Аникин М.М., Иванов П.А., Растегаев В.П., Савкина Н.С., Сыркин А.П., Челноков В.Е. // ФТП. 1993. Т. 27. В. 1. С. 102-107.
- [3] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т. 1. М., 1984. 455 с.
- [4] Аникин М.М., Иванов П.А., Сыркин А.Л., Царенков Б.В., Челноков В.Е. // Письма ЖТФ. Т. 15. В. 16. С. 36-42.
- [5] Иванов П.А., Царенков Б.В. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 11. С. 1913-1921.

Физико-технический
институт им. А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
11 марта 1994 г.