

06.2
©1993

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ БИПОЛЯРНЫХ ПРИБОРОВ С ПОЛНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

И.В.Грехов, Е.И.Белякова, Л.С.Костина, И.А.Рольник

Принципиальным недостатком самых массовых приборов сильноточной электроники — биполярного транзистора (БТ) и запираемого тиристора (ЗТ) — является высокое тангенциальное сопротивление базового слоя, по которому протекает управляющий ток. Падение напряжения на этом слое, возникающее при протекании выключающего импульса тока, прикладывается в запирающем направлении к эмиттерному переходу. Поскольку при обычной технологии изготовления БТ и ЗТ путем последовательной диффузии легирующих примесей напряжение пробоя эмиттера не превышает 10–15 В, размер эмиттерного элемента в направлении протекания управляющего тока приходится делать малым (обычно не более 0.1–0.2 мм) с тем, чтобы падение напряжения на базе при выключении не превышало напряжения пробоя эмиттера. Поэтому мощные БТ и ЗТ обычно состоят из нескольких сотен (и даже тысяч) узких эмиттерных полос, разделенных электродами управления. При этом теряется более половины площади полупроводниковой пластины, ухудшается теплоотвод и усложняется технология из-за необходимости многократных фотолитографических совмещений эмиттерного и базового рисунков. Уменьшение сопротивления растекания путем повышения уровня легирования базового слоя приводит к уменьшению коэффициента инжекции эмиттера и, следовательно, к уменьшению коэффициента усиления БТ и ухудшению статических характеристик ЗТ.

Принципиально новые возможности конструирования БТ и ЗТ дает метод прямого сращивания кремния кремния (ПСК) [1–4] и др. Нами исследован вариант конструкции ЗТ, показанный на рис. 1, а, б [5, 6]. $pnpp^+$ -структура изготавливалась совместной диффузией алюминия и бора в n -Si с $\rho_v = 80 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, p -слой полировался до толщины 20–25 мкм, окислялся, и затем методом фотолитографии с последующей диффузией бора изготавливалась сетка перекрещивающихся сильнолегированных ($N_p \sim 10^{21} \text{ см}^{-3}$) полос с шагом 200, шириной 50 и глубиной 3–4 мкм. К $pnpp^+$ -структуре методом ПСК присоединялась со стороны сетки пластина p -Si с $\rho_v = 20 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и сошлифовывалась до толщины 30–35 мкм,

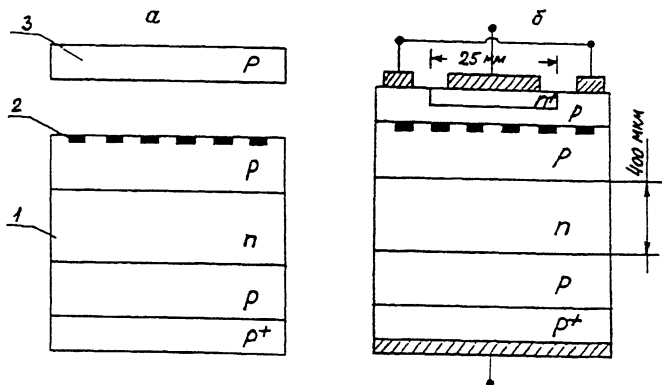


Рис. 1.

a — сращиваемые элементы конструкции ЗТ.

1 — $pnppr^+$ структура, *2* — высокопроводящая сетка, *3* — пластина $p\text{-Si}$,
б — полупроводниковая структура ЗТ после сращивания.

после чего в ней диффузией фосфора изготавливался катодный n^+ -эмиттер с глубиной pn -перехода 12–15 мкм и шириной эмиттерной полосы 2.5 мм. Напряжение пробоя n^+p -эмиттера составляло 200–300 В, расчетное напряжение переключения ЗТ — 2.5 кВ, сопротивление растекания составной p -базы со встроенной сеткой $\rho = 2.2 \text{ Ом}\square$ (по сравнению с обычной для ЗТ величиной $\rho = 10.7 \text{ Ом}\square$).

Типичные осциллограммы переходных процессов приведены на рис. 2. Хорошо видно, что включение прибора происходит довольно медленно, что связано, вероятно, с избыточной суммарной толщиной p -базы, но остаточное напряжение в установившемся состоянии ($\sim 3 \text{ В}$ при плотности тока 165 А/см^2) имеет обычную для ЗТ величину. Процесс выключения протекает очень резко, практически без характерной для обычных ЗТ затяжки спада тока в конце процесса. При отношении запираемого к запирающему току ~ 9 длительность спада тока $\sim 2 \text{ мкс}$, задержка менее 1 мкс и заряд выключения $\sim 7 \cdot 10^{-6} \text{ кул}$. Отметим также резкий обрыв тока управления сразу после спада основного тока; эта особенность связана с хорошей блокирующей характеристикой n^+p -эмиттера.

Таким образом, двойная p -база со встроенной на интерфейсе высокопроводящей сеткой, изготовленная методом ПСК, позволила более чем на порядок увеличить пробивное напряжение эмиттера и одновременно примерно в 5 раз уменьшить сопротивление растекания. В результате этого ширина эмиттерной ячейки ЗТ может быть увеличена на порядок и более, что резко упрощает конструкцию и техно-

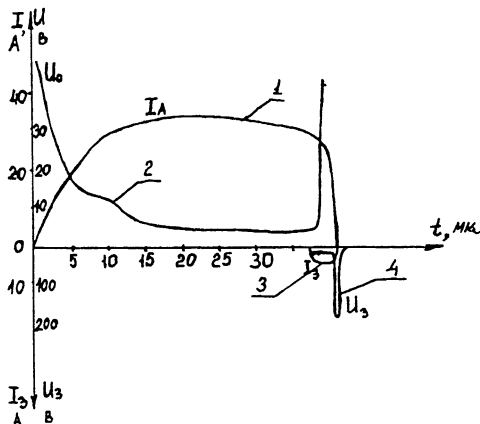


Рис. 2. Осциллограммы переходных процессов.

1 — ток в главной цепи, 2 — напряжение в главной цепи, 3 — выключающий ток в базе, 4 — напряжение в цепи управления.

логию ЗТ и БТ, улучшает использование рабочей площади кремниевой пластины и теплоотвод от прибора. Хорошие статические и динамические характеристики исследованных образцов свидетельствуют, что интерфейс и высокопроводящая сетка внутри p -базы не вносят существенных рекомбинационных потерь. При этом следует отметить, что конструкция исследованных образцов, вероятно, не является оптимальной. В дальнейшем предполагается перейти к значительно более мелкому шагу сетки, т.е. уменьшить размер внутренней элементарной ячейки прибора с целью дальнейшего улучшения характеристик запирания. Предполагается также уменьшить сопротивление сетки, выполняя ее, например, из силицидов металлов.

Нам представляется, что описанная конструкция биполярных приборов может быть перспективной не только для ЗТ любых мощностей, но и для биполярных транзисторов.

Список литературы

- [1] Lasky J.B., Stiffer S.R. White F.R., Abernathy J.R. // Proc. Intern. El. Dev. Meeting. Washington, D.C., 1985. P. 684-687.
- [2] Stengl K., Tan T., Gosele V. // Japan J. Appl. Phys. 1989. V. 28. N 10. P. 1735-1741.
- [3] Волле В.М., Воронков В.Б., Грехов И.В., Козлов В.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 17. С. 61-65.

- [4] *Воронков В.Б., Грехов И.В., Козлов В.А.* // ФТП. 1991. Т. 25. В. 2. С. 208–216.
- [5] *Грехов И.В., Белякова Е.И., Костина Л.С.* Полупроводниковый прибор. Заявка на изобретение № 502 28 43 от 13.02.92.
- [6] *Грехов И.В.* // Известия РАН. Сер. Энергетика. 1993. Т. 39. В. 3. С. 60–69.

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

Поступило в Редакцию
12 октября 1993 г.
