

## ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА $n-p-p^+$ -СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЙ, КОМПЕНСИРОВАННОГО ХРОМОМ

© А.С. Саидов, А.Ю. Лейдерман, Б. Сапаев,  
С.Ж. Каражанов, Д.В. Сапаров

Физико-технический институт, Научно-производственное объединение  
«Физика-Солнце» Академии наук Узбекистана,  
Ташкент, Узбекистан  
(Получена 31 октября 1994 г. Принята к печати 2 октября 1995 г.)

Проведено исследование статистических токов  $n-p-p^+$ -структур, изготовленных на основе твердого раствора кремний-германий, компенсированного хромом. Обнаружено, что ВАХ таких структур имеет участок сублинейного роста тока с напряжением  $V \approx V_0 \exp(JaW)$ . Экспериментальные результаты объясняются на основе теории эффекта инжекционного обеднения.

Полупроводниковые  $n-p-p^+$ -структуры на основе твердых растворов кремний-германий представляют существенный интерес для твердотельной электроники и весьма важно иметь ясное представление о вольт-амперной характеристике этих структур.

В данной работе приводятся результаты исследований ВАХ  $n-p-p^+$ -структур (рис. 1) на основе твердого раствора кремний-германий, компенсированного хромом. Исследованные  $n-p-p^+$ -структуры изготавливались методом жидкофазной эпитаксии из галлиевого раствора-расплава. Для улучшения структурного совершенства рост осуществлялся при температурах ниже  $800^\circ\text{C}$ . Состав раствора-расплава для низкотемпературной эпитаксии определялся из диаграмм состояния, из которых следует, что наиболее подходящим компонентом является алюминий. Кроме того, добавление алюминия в раствор-расплав обеспечивает надежную заливку раствора-расплава в зазор между кремниевыми подложками и необходимую смачиваемость. Подложками служили шайбы КЭФ 5.0-40 Ом-см, диаметром 40 мм ориентированные по направлению (111). Рост осуществлялся из ограниченного между двумя горизонтально расположенными подложками раствора-расплава.

Кристаллизация эпитаксиальных слоев начиналась при температуре ниже  $750^\circ\text{C}$ . Скорость охлаждения раствора-расплава 1 град/мин.

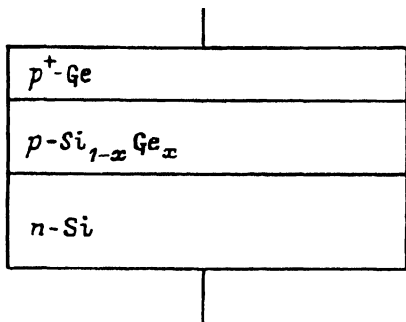


Рис. 1. Схема исследуемой  $n-p-p^+$ -структуры.

Автолегированные эпитаксиальные слои  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ , как следовало ожидать, имели дырочный тип проводимости. Включения второй фазы на растровых картинах, снятых на характеристических рентгеновских излучениях  $\text{Si}(K_\alpha)$ ,  $\text{Ge}(K_\alpha)$ ,  $\text{Ga}(K_\alpha)$ , не обнаружены. Слои имели толщину 20 мкм. Содержание Si и Ge изменялось по направлению роста и достигало 100% Ge на поверхности.

ВАХ исследованных образцов содержит сублинейный участок (рис. 2). На рис. 3 изображен сублинейный участок ВАХ, перестроенный в полулогарифмическом масштабе. В этих координатах сублинейный участок спрямляется. Это свидетельствует о том, что он хорошо описывается экспоненциальной зависимостью типа

$$V \approx V_0 \exp(JA). \quad (1)$$

Теоретические исследования процессов амбиполярного транспорта неравновесных носителей в  $n-p-p^+$ -структурах [1-3] показывают, что ВАХ, описываемая выражением (1), может возникать в условиях эффекта инжекционного обеднения, впервые предсказанного в [1]. Этот эффект имеет место в условиях развитой аккумуляции носителей у  $p-p^+$ -перехода  $p$ -базы, обуславливающей встречные направления диффузии и дрейфа. При этом благодаря инжекционной модуляции заряда глубоких примесей имеет место спад концентрации неравновесных носителей  $n$ , линейный рост скорости амбиполярного дрейфа  $v_a$  с ростом

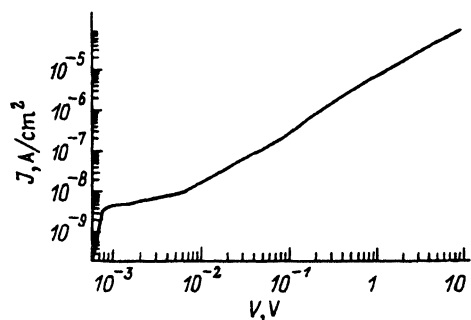


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика  $n-p-p^+$ -структуры на основе твердых растворов кремний-германий.

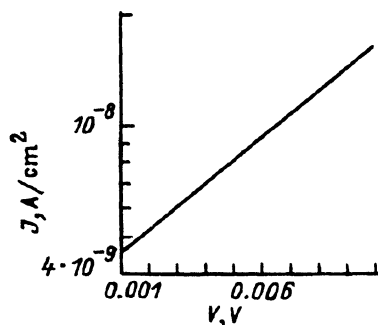


Рис. 3. Зависимость тока от напряжения на сублинейном участке ВАХ.

$$v_a = aD_p J, \quad (2)$$

где

$$a = (2qN_t D_n)^{-1} \quad (3)$$

$q$  — заряд электрона;  $D_n$ ,  $D_p$  — коэффициенты диффузии электронов и дырок соответственно;  $N_t$  — концентрация глубоких примесей.

Как показано в [1-3], коэффициент  $A$  в (1) определяется по формуле

$$A = a \cdot W,$$

где  $W$  — длина  $p$ -базы.

График  $J(V_1)$  на рис. 3 позволяет посчитать параметр  $a$  по формуле

$$a = \frac{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) S}{(J_1 - J_2)W}, \quad (4)$$

где  $S$  — площадь поперечного сечения. Вычисление по формуле (4) показывает, что  $a = 1.84 \cdot 10^4$  см/А. Поскольку коэффициент диффузии  $D_n = 15$  см<sup>2</sup>/с, в соответствии с (3) концентрация глубокой примеси равна  $N_t \approx 10^{13}$  см<sup>-3</sup>, что совпадает со значением  $N_t$ , определенным из эксперимента.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что наличие сублинейного участка на ВАХ  $n-p-p^+$ -структур на основе твердых растворов кремний-германий связано с эффектом инжекционного обеднения.

#### Список литературы

- [1] А. Ю. Лейдерман, Р. М. Карагеоргиев-Алкалаев. Sol. St. Commun., **27**, 339 (1978).
- [2] П. М. Карагеоргиев-Алкалаев, А. Ю. Лейдерман. Глубокие примесные уровни в широкозонных полупроводниках (Ташкент, ФАН, 1971).
- [3] Э. И. Адирович, П. М. Карагеоргиев-Алкалаев, А. Ю. Лейдерман. Токи двойной инжекции в полупроводниках (М., Сов. радио, 1972).

Редактор В. В. Чалдышев

#### Voltage-current characteristic of $n-p-p^+$ -structures on the basis of a silicon-germanium solid solution compensated with chromium

A. S. Saidov, A. Yu. Leiderman, B. Sapayev, S. Zh. Karazhanov, D. V. Saparov

Physicotechnical Institute: «Physics-Sun» Research and Production Enterprise, National Academy of Sciences, 700084 Tashkent, Uzbekistan