

Д. ф.-м. н. А. В. КАРИМОВ, к. ф.-м. н. Д. М. ЁДГОРОВА,  
Ш. Ш. ЮЛДАШЕВ, Ш. Ш. БОЛТАЕВА

Узбекистан, г. Ташкент, НПО «Физика-Солнце»  
E-mail: karimov@uzsci.net

Дата поступления в редакцию  
14.11 2005 г.

Оппонент к. ф.-м. н. Н. Н. ГРИГОРЬЕВ  
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

## ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗКОГО $p-n$ -ПЕРЕХОДА

*Приведен способ получения резкого  $p-n$ -перехода методом жидкостной эпитаксии. На основе эпитаксиальных  $p-n$ -переходов изготовлены полевые транзисторы, подтвердившие эффективность предложенного способа.*

При получении  $p-n$ -перехода на поверхности полупроводника диффузионной технологией или путем выращивания слоя противоположной полярности граница  $p-n$ -перехода может сместиться относительно металлургической вследствие различия концентрации носителей. При этом происходит дополнительная диффузия примесей в сторону слаболегированной области. В результате  $p-n$ -переход может получиться не резким [1]. Сохранение резкости  $p-n$ -перехода и, одновременно, совершенства выращиваемого слоя требует специального подхода. Так, для повышения совершенства выращиваемых слоев рост эпитаксиального слоя ведут при малых скоростях охлаждения ( $0,2^\circ\text{C}/\text{мин}$ ). При этом если концентрация носителей одной из областей будет намного больше другой, то во время выращивания слоя может произойти диффузия носителей из подложки в выращиваемую пленку или наоборот, что приведет к расширению  $p-n$ -перехода [2].

Целью настоящей работы является улучшение структуры слоев и получение более резкой границы  $p-n$ -перехода за счет совмещения физической границы с металлургической.

Концепция получения резкого  $p-n$ -перехода заключается в том, что между сильнолегированной и слаболегированной областями вводится слой с типом проводимости, совпадающим с типом проводимости сильнолегированной области [3]. В результате получается, например,  $p^+-p-n$ -переход с выращенной тонкой промежуточной  $p$ -областью. При этом во время роста промежуточного слоя будет осуществляться частичная диффузия из  $p^+$ -области в  $p$ -слой.

Другая особенность — ослабление диффузии примесей из сильнолегированной области — обеспечивается за счет переменной скорости выращивания слоя другого типа проводимости.

Для получения резких  $p-n$ -переходов на основе соединений арсенида галлия использовали специально изготовленное устройство жидкостной эпитаксии.

Рост эпитаксиальных слоев арсенида галлия, содержащих  $p-n$ -переход, осуществлялся в графито-

вом устройстве (рис. 1), для чего устройство с расплавами и подложками помещали в кварцевый реактор, продуваемый потоком очищенного водорода. Затем всю систему нагревали до  $840\text{--}850^\circ\text{C}$ , после выдержки в течение  $30\text{--}50$  мин включали программируемое охлаждение с начальной скоростью  $3,3^\circ\text{C}/\text{мин}$  и снимали нижние слои перемещением подвижной пластины 6 в направлении положения Б. Далее расплав 5 приводили в контакт с рабочей подложкой 2 (положение В), в этот момент второй расплав 4 автоматически входит в контакт с холостой подложкой другого типа проводимости 3.

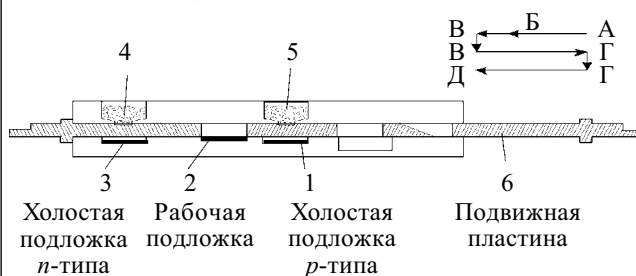


Рис. 1. Разрез устройства выращивания эпитаксиальных слоев

Охлаждение осуществляется с переменной скоростью, определяемой выражением

$$V_n = 3,3 - (3 \dots 4) \cdot 10^{-1}, \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}, \quad (1)$$

с интервалом времени между различными скоростями

$$\Delta t_n = 1,7 \cdot 2^n, \text{ мин}, \quad (2)$$

где  $n = 1, 2, 3, 4$ .

С момента включения охлаждения (см. рис. 2) при скоростях охлаждения  $V_0 = 3,3^\circ\text{C}/\text{мин}$  и  $V_2 = 2,9^\circ\text{C}/\text{мин}$  растет первый эпитаксиальный слой. Далее при достижении  $845^\circ\text{C}$  удаляют первый расплав с рабочей

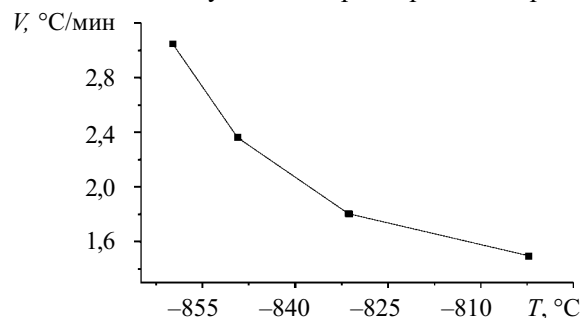


Рис. 2. Температурно-временная диаграмма технологического процесса

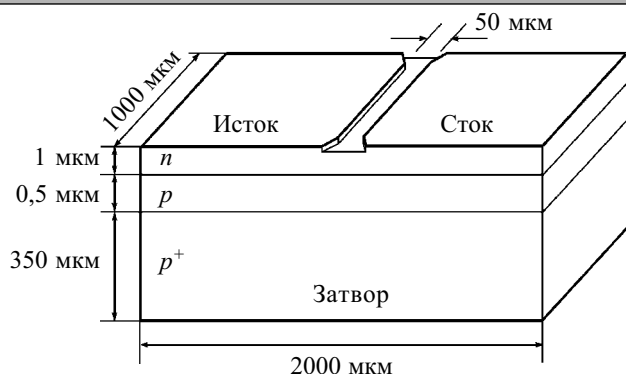


Рис. 3. Структура полевого транзистора с эпитаксиальным резким  $p-n$ -переходом (максимальные размеры)

подложки и приводят второй расплав в контакт с поверхностью первого выращенного слоя. При последующем охлаждении системы до  $750^{\circ}\text{C}$  в интервале времени

$$\Delta t_{2-3} = 1,7 \cdot 2^n, \text{ мин} \quad (3)$$

(где  $n = 2, 3$ ) и соответствующих скоростях охлаждения  $V_2 = 2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $V_3 = 2,1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $V_4 = 1,7^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  растёт второй эпитаксиальный слой, образующий  $p-n$ -переход с первым эпитаксиальным слоем. Для прекращения роста слоя расплав удаляли с поверхности подложки.

Далее, после достижения  $750^{\circ}\text{C}$ , систему охлаждали со скоростью  $7-10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  до  $600^{\circ}\text{C}$ , затем отключали нагрев.

На основе полученных эпитаксиальных слоев с резкими  $p-n$ -переходами изготавливали полевые транзисторы с управляющим  $p-n$ -переходом в качестве затвора (рис. 3). Как показано на рис. 4, зависимость емкости  $p-n$ -перехода от запирающего напряжения в координатах  $U$  и  $1/C^2$  дает прямую линию, что подтверждает резкость полученного эпитаксиального перехода.

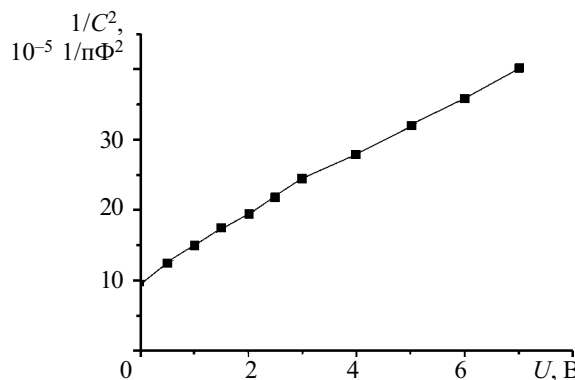


Рис. 4. Зависимость емкости  $p-n$ -перехода от запирающего напряжения

Полевые транзисторы, полученные на основе эпитаксиальных  $p-n$ -переходов, имели ярко выраженное насыщение тока стока, полную отсечку канала при напряжениях, меньших пробойного, что обусловлено резкостью  $p-n$ -перехода и совершенством кристаллической структуры эпитаксиальных слоев [4].

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Смирнова Н. Б., Михайлов Л. Н., Бобров А. П. и др. Особенности распределения цинка в эпитаксиальных пленках на основе твердого раствора  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  // Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы. — 1974. — Вып. 2. — С. 109—113.
2. Машнин С. В., Преснов В. А., Хлудков С. С. Электрические свойства диффузионных  $p-n$ -переходов в арсениде галлия // В сб.: Арсенид галлия. Вып. 2. (Прилож. к ж-лу Известия вузов. Физика. — 1969. — № 5). — С. 152—156.
3. А. с. 762253 СССР. Способ получения  $p-n$ -переходов на основе полупроводниковых соединений  $\text{A}^3\text{B}^5$  / А. В. Каримов, М. Мирзабаев. — 1980.
4. Каримов А. В., Ёдгорова Д. М. Физические явления в арсенидгаллиевых структурах с микрослойным квазиизопериодическим переходом. — Ташкент: Фан, 2005.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



#### Оура К., Катаяма М., Лифшиц В. Г. и др. Физика поверхности: введение. — М.: Наука, 2006. — 40 л.

Монография — дополненный перевод с английского книги «Surface Science — an Introduction», опубликованной издательством «Springer — Verlag», Berlin, Heidelberg, в 2003 г. в серийном издании «Library of Congress Cataloging-in-Publication Data». Охватывает основные области физики поверхности, включая теоретические представления и анализ экспериментальных данных, полученных в последние 3—4 года. Библиографический аппарат содержит обзоры ведущих специалистов в области сверхвысоковакуумной туннельной микроскопии и спектрального анализа поверхности за 1998—2002 гг. Книгу отличают современность, системность, достаточная простота изложения.

Для специалистов в области физики поверхности, полупроводниковой микро- и нанoeлектроноскопии, студентов.