

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.

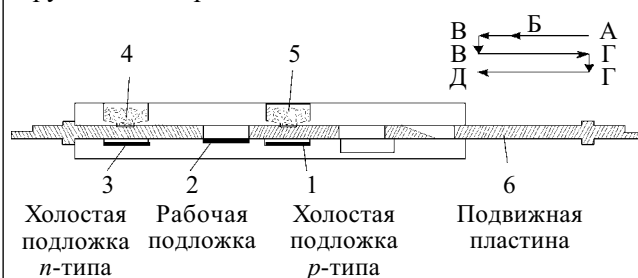


Рис. 1. Разрез устройства выращивания эпитаксиальных слоев

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°C удаляют первый расплав с рабочей

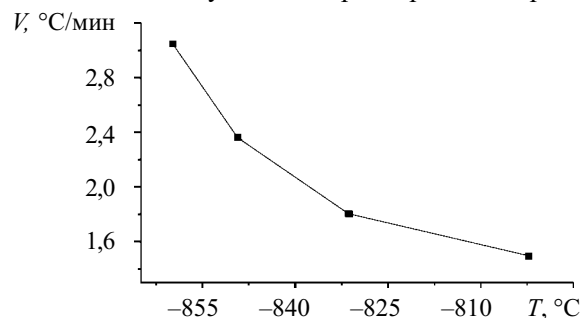


Рис. 2. Температурно-временная диаграмма технологического процесса

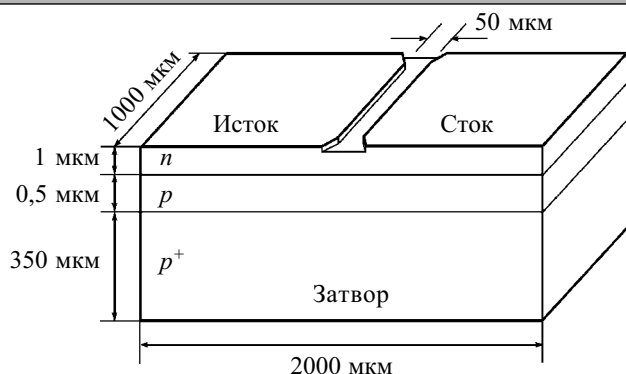


Рис. 3. Структура полевого транзистора с эпитаксиальным резким $p-n$ -переходом (максимальные размеры)

подложки и приводят второй расплав в контакт с поверхностью первого выращенного слоя. При последующем охлаждении системы до 750°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°C , систему охлаждали со скоростью $7-10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до 600°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.

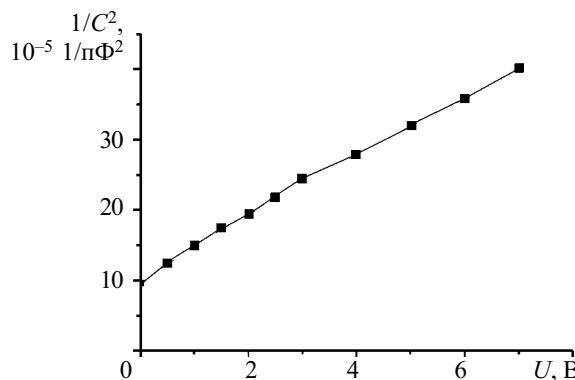


Рис. 4. Зависимость емкости $p-n$ -перехода от запирающего напряжения

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 A^3B^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.