

# ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ВЫРАЩИВАНИЯ КРЕМНИЯ И ТИПА $p-n$ ПЕРЕХОДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБНАНОСЕКУНДНОГО ЛАВИННОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ

И.А. Смирнова<sup>1)</sup>, В.И. Брылевский<sup>1)</sup>, П.Н. Брунков<sup>1)</sup>, П.Б. Родин<sup>1)</sup>, И.В. Грехов<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург*

При быстром росте обратного напряжения, приложенного к высоковольтной структуре, интенсивная лавинная ионизация начинается при напряжении, примерно вдвое большем, чем напряжение стационарного пробоя, и приводит к переключению структуры в проводящее состояние за время около 100 пс (рис. 1). Это явление [1] позволяет формировать киловольтные перепады напряжения с пикосекундным временем нарастания [2]. Физические механизмы такого сверхбыстрого переключения, равно как и его зависимость от профиля  $p-n$  перехода и свойств кремния, из которого изготовлена структура, остаются не до конца проясненными.

Мы представляем результаты сравнительного исследования диодных структур, изготовленных из кремния, полученного различными методами: нейтронное легирование, метод Чохральского, бестигельная зонная плавка. Формирование  $p-n$  перехода осуществлялось диффузией бора, а также совместной диффузией бора и алюминия или бора и галлия. Одна из партий структур имела резкий эпитаксиальный  $p-n$  переход. Для всех исследованных структур проведена емкостная спектроскопия глубоких уровней. Измерение переходных процессов проводилось с помощью установки с размещенным в полностью согласованном 50- $\Omega$  тракте резистивным ответвителем, позволяющей одновременно и независимо определять напряжение на 50- $\Omega$  нагрузке и напряжение на приборе вместе с нагрузкой [3]. Собственное время нарастания измерительного тракта составляло менее 50 пс при напряжении до 7 кВ. Проведенные исследования показали резкую зависимость процесса переключения от типа  $p-n$  перехода, но незначительную зависимость от типа исходного кремния. Успешное переключение с низким остаточным напряжением (менее 300 В) наблюдалось только для структур с относительно резким  $p-n$  переходом, полученным диффузией бора (кривая 1), а также для структур с эпитаксиальным  $p-n$  переходом (кривая 2). В структурах с глубоким и плавным переходом, полученным совместной диффузией бора и алюминия (галлия) наблюдалось аномально большое остаточное напряжение около 1 кВ, близкое к напряжению стационарного пробоя (кривая 3). Именно в этих структурах обнаружена наибольшая концентрация глубоких центров.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант N 13-02-00813).

## Литература

1. И.В. Грехов, А.Ф. Кардо-Сысоев. Формирование субнаносекундных перепадов тока при задержке пробоя кремниевых  $p-n$ -переходов, Письма ЖТФ, 5, 1979, стр. 950-953.
2. A.F. Kardo-Sysoev. *New Power Semiconductor Devices for Generation of Nano- and Subnanosecond Pulses*, in *Ultra-Wideband Radar Technology*, edited by Taylor J.D. Boca Raton, London, New York, Washington: CRS Press, 2001.
3. В.И. Брылевский, И.А. Смирнова, П.Б. Родин, И.В. Грехов. Субнаносекундное лавинное переключение высоковольтных кремниевых диодов с резкими и плавными  $p-n$ -переходами, Письма ЖТФ, 40, 2014, стр. 80-87

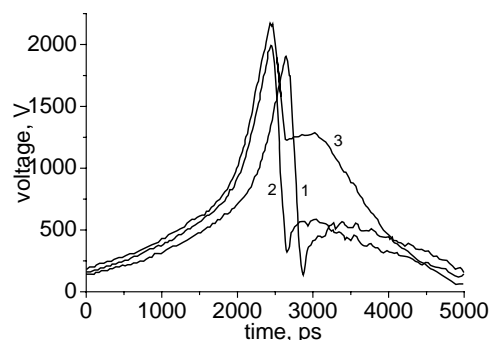


Рис. 1. Напряжение на диодах с напряжением стационарного пробоя  $\sim 1$  кВ при сверхбыстром переключении.