

МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОТЫ БАРЬЕРОВ Mo-p-Si ДИОДОВ ШОТТКИ ПОСРЕДСТВОМ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ВОДОРОДА

Ю. М. Покотило, А. Н. Петух, А. В. Гиро, Ю. А. Дышлевич,
О. А. Дзичковский, А. С. Камышан

Белорусский государственный университет, pokotilo@bsu.by

ВВЕДЕНИЕ

Варьировать высоту потенциального барьера, определяющуюся в основном свойствами металла и поверхности раздела металл-полупроводник, можно, как известно [1], путем создания в базе тонкого слоя с другой концентрацией легирующей примеси. В этом случае приповерхностный n^+ -слой в n -базе диода, согласно [1], приводит к уменьшению высоты барьера. Нами установлено, что формирование субмикронного низкоомного слоя при имплантации протонов и последующей термообработке, приводит к возрастанию величины потенциального барьера. В настоящей работе анализируются причины возрастания величины барьера и приводятся результаты численного моделирования этого эффекта.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводились на промышленных (MoSi) диодах Шоттки, где базовым слоем являлся эпитаксиальный слой кремния, легированный фосфором до удельного сопротивления 1,2 Ом·см и толщиной 5 мкм. Имплантация протонами с энергией 300 КэВ и дозой $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ проводилась с планарной стороны через многослойный (Al-Ni-Mo) металлический контакт. Измерения профилей распределения концентрации электронов (C - V -характеристики) и ВАХ проводились при комнатной температуре. Образцы отжигались в кварцевой трубе на воздухе.

ОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ДОНОРОВ В БАЗЕ ДИОДОВ

После облучения все образцы были отожжены при температуре $350 \text{ }^\circ\text{C}$ для устранения радиационных дефектов и формирования H -доноров [2].

На рис. 1 представлены профили распределения H -доноров в базовой области диода при различных режимах термообработки.

Видно, что после термообработке $350 \text{ }^\circ\text{C}$ в узком слое (0,3 мкм) концентрация электронов превышает на порядок исходную. В [2] показано, что распределение избыточных электронов совпадает с расчетным профилем распределения внедренного водорода. Это свидетельствует о том, что в состав

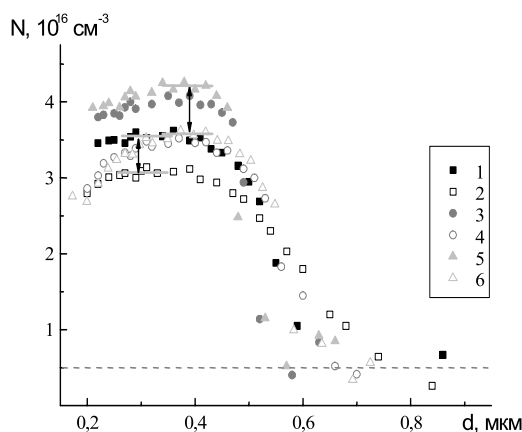


Рис. 1. Профили распределения электронов проводимости в образце, облученном протонами дозой $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$: отжиг $T=275 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 - 8 часов, 3 - 22 часа, 5 - 29,5 часов; 2, 4, 6 - отжиг $T=100 \text{ }^\circ\text{C}$, 7 часов каждый

доноров входят атомы водорода. Причем образуется два типа доноров, один из которых обладает свойством бистабильности. Действительно, изотермический отжиг при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к конфигурационной перестройке одного типа донора в электрически неактивное состояние, а последующая закалка от $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в воду практически восстанавливает полную концентрацию H -доноров. Циклическое изменение концентрации бистабильного H -донора может быть проведено многократно. Это позволит разделить эффекты температурного и концентрационного влияния на высоту барьера [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА

На рис. 2 представлены зависимости $C^2(U_{обр})$ на различных этапах термообработки.

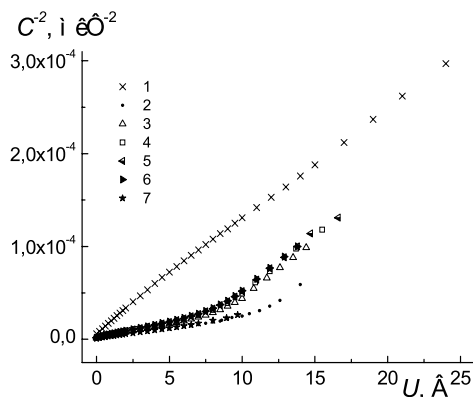


Рис. 2. Зависимость $C^2(U_{обр})$ на различных стадиях отжига.

1 – исходный; 2 – $T=350\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 мин.;
 $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$, : время отжига, мин: 3 – 150, 4 – 255, 5 – 430, 6 – 680; 7 – закалка, $T=350\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 мин.

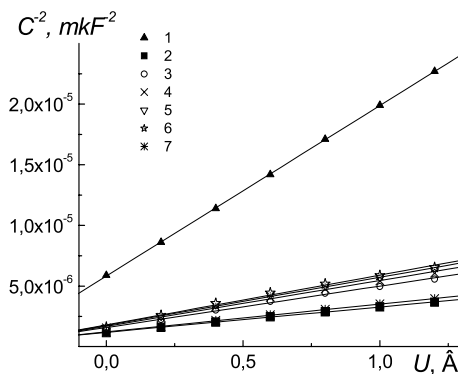


Рис. 3. Начальные участки зависимостей $C^2(U)$. Номера кривых соответствуют номерам на рис. 2.

Эти зависимости, кроме исходной, имеют явно выраженный нелинейный характер, что связано с неоднородным распределением электронов. Следовательно, они не могут быть использованы для определения высоты барьера U_b методом линейной экстраполяции экспериментальных данных до пересечения с осью абсцисс в точке $U_0 = -U_{обр}(C^2 = 0)$, где $U_b = U_0 + U_n$, а U_n – разность потенциалов между уровнем Ферми и дном зоны проводимости [2].

Однако, как видно из рис. 3, начальные участки зависимостей $C^2(U_{обр})$ в диапазоне $U_{обр} = (0-1,2)\text{ В}$ линейны и их наклон четко коррелирует с величиной концентрации электронов в низкоомном слое (рис. 1). Результаты расчетов по данным рис. 3 представлены на рис. 4. Величина U_n определялась из соотношения $U_n = \kappa T \ln(N/N_0)$, где N_0 – концентрация доноров в квазинейтральной области базы.

Таким образом, из данных рис. 4 следует, что, в отличие от модели [1], величина барьера U_b практически линейно возрастает с увеличением концентрации H -доноров в приповерхностной области базы диодов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно [2], на величину потенциального барьера могут влиять необратимые процессы диффузии примесей при термообработке и падение потенциала на промежуточном слое между металлом и полупроводником.

Первый фактор в нашем случае не оказывает влияния, так как величина барьера при циклических термообработках не изменяется.

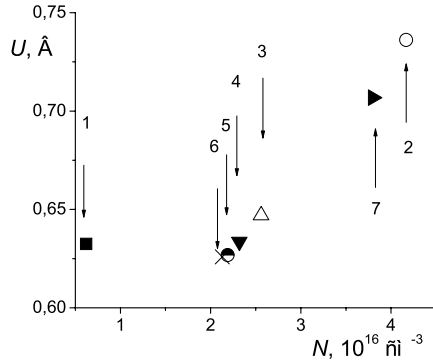


Рис.4. Зависимость высоты потенциального барьера от концентрации электронов. Номера точек соответствуют номерам кривых рис. 2

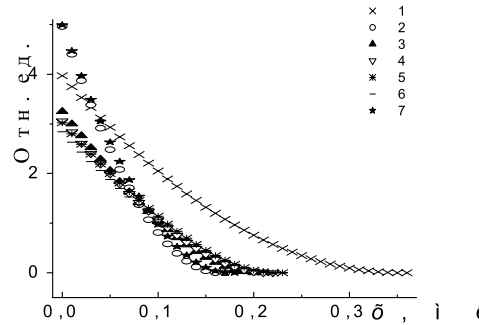


Рис.5 Результаты численного моделирования зависимости потенциала для диодов Шоттки на различных стадиях отжига. Номера кривых соответствуют номерам кривых на рис. 2

Технология изготовления образцов, используемых в наших экспериментах, исключает образование промежуточного слоя. Поэтому электроны должны свободно туннелировать через границу раздела Mo-Si. Таким образом, рассмотренные механизмы не описывают наблюдаемый нами эффект возрастания величины барьера при увеличении концентрации H -доноров в тонком приповерхностном базовом слое диодов Шоттки.

Поэтому нами было проведено численное моделирование уравнения Пуассона с учетом измеренных профилей распределения H -доноров. Расчет потенциала $\phi(x)$ производился численно в соответствии с уравнением Пуассона $d^2\phi/dx^2 = -N(x)/\epsilon\epsilon_0$, где для $N(x)$ использовались данные рис. 1. Результаты расчета $\phi(N)$, представленные на рис. 5, хорошо описывают полученные экспериментальные результаты (см. рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, высота потенциального барьера диодов Шоттки без промежуточного диэлектрического слоя определяется, в основном, величиной заряда в обедненной области, что позволяет ее регулировать путем формирования водородосодержащих доноров в приповерхностном базовом слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. М.: Мир. 1984. 450 с.
2. Покотило, Ю.М. Водородсодержащие доноры в кремнии - центры с отрицательной эффективной корреляционной энергией / Ю.М. Покотило, А.Н. Петух, В.В. Литвинов, В.Г.Цвырко // Физика и Техника Полупроводников. 2005. Т. 39. №7. С. 802.