

## МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ КРЕМНИЕВЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ОБРАБОТКОЙ В ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

Ю. М. Покотило, А. Н. Петух, В. В. Литвинов, В. П. Маркевич, В. К. Ксенович,  
О. Ю. Смирнова, Г. Ф. Стельмах, А. В. Мазаник, О. В. Королик,  
А. В. Гиро, Пальмера Д. Мигель А.

Белорусский государственный университет, pokotilo@bsu.by

Исследования были проведены на структурах  $\text{Si}/\text{P}^+$ , обработанных в водородной плазме. Ориентация подложка  $\langle 111 \rangle$ , толщина 510-540 мкм. Эпитаксиальный слой толщиной (55.2-64,8) мкм легирован фосфором ( $\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ). Обработка структур в водородной плазме проводилась при температуре  $150^\circ\text{C}$  в течение 10 часов. Температурные зависимости концентрации электронов в диапазоне (2-300) К определялись из измерений эффекта Холла. Спектры комбинационного рассеяния (КРС) измерялись при комнатной температуре с использованием твердотельного лазера с длиной волны 532 нм, мощность подводимая к образцу 2 мВт. Для сравнения использовались также  $\text{Mo-Si}$  диоды Шоттки, имплантированные ионами водорода с энергией 300 кэВ дозой  $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Профили распределения водородосодержащих доноров ( $\text{H}$ -доноров) определялись из измерений вольт-фарядных характеристик.

На рис.1 представлен спектр КРС в исходной (1) и обработанной в  $\text{H}$ -плазме (2)  $\text{Si}/\text{P}^+$  структуре. Видно, что после обработки в спектре появляется полоса вблизи  $2140 \text{ см}^{-1}$ , обусловленная колебательной модой  $\text{Si-H}$  связи, локализованной в протяженных дефектах (плателетах) [1]. Согласно [2], именно такие комплексы являются основой для формирования  $\text{H}$ -доноров двух типов в кремнии, облученном протонами при последующей термообработке в диапазоне ( $300\text{-}400$ )  $^\circ\text{C}$ .

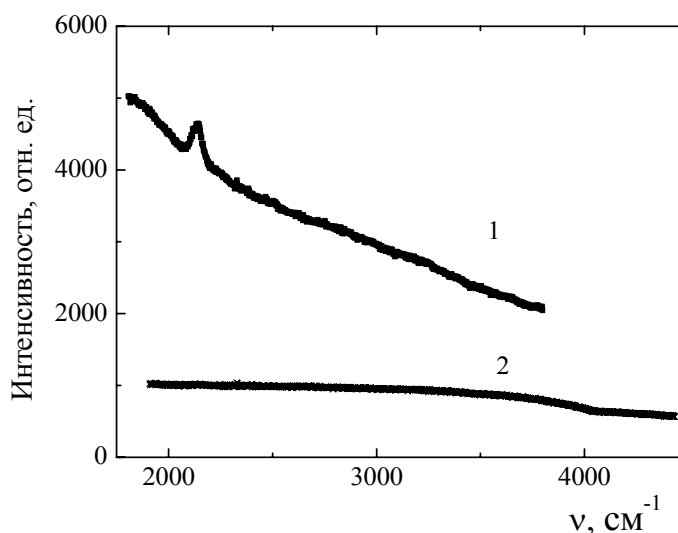


Рис. 1. Спектры КРС в исходном (2) и обработанном в  $\text{H}$ -плазме (1) кремнии

На рис. 2 приведены температурные зависимости концентрации электронов в эпитаксиальном слое Si/P<sup>+</sup>, обработанной в H-плазме.

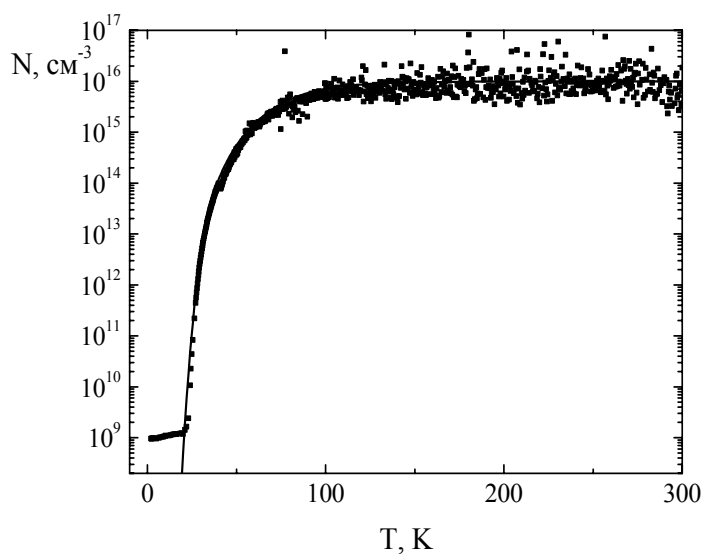


Рис. 2. Температурная зависимость концентрации в кремнии, обработанном в H-плазме. Сплошная линия – расчет

Аппроксимация этих данных на основе одноуровневого уравнения нейтральности (сплошная линия) проведена при следующих параметрах –  $N_d - N_a = 1 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$  и  $\Delta E = 0.045 \text{ эВ}$ . Концентрация электронов в области полного истощения примеси составляет  $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , что значительно превышает величину исходной концентрации легирующей примеси фосфора  $(2-3) \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . На этом основании можно предположить, что в эпитаксиальном слое кремния при обработке в плазме формируются H-доноры. Кроме того полученное значение энергии ионизации близко к таковому для H-доноров второго типа  $\Delta E \approx 0.04 \text{ эВ}$ , найденному в [2]. Однако в [2] постулируется, что необходимым условием формирования H-доноров является наличие высокой концентрации радиационных дефектов (облучение высокоэнергетическими протонами) и последующая термообработка. Поэтому нами были проведены исследования изохронного (20 мин) отжига профилей распределения концентрации электронов в диодах Шоттки, облученных протонами с энергией 300 кэВ.

На рис. 3 представлены значения концентрации электронов в максимуме профилей распределения, совпадающем с величиной проективного пробега протонов, в ходе изохронного отжига. Избыточная концентрация электронов, по сравнению с исходным уровнем легирования, наблюдается только в области локализации внедренного водорода. Поэтому логично предположить, что этот эффект обусловлен формированием H-доноров. Так как наблюдается несколько стадий отжига, то образуются, по крайней мере, три типа H-доноров. Из анализа данных рис. 3 следует, что первый тип H-доноров появляется сразу после облучения без последующей термообработки. Причем его концентрация приблизительно совпадает с таковой для H-доноров, образующихся в кремнии после обработки в водородной плазме. Стадии формирования и отжига H-доноров второго и третьего типа совпадают с таковыми, установленными в [2].

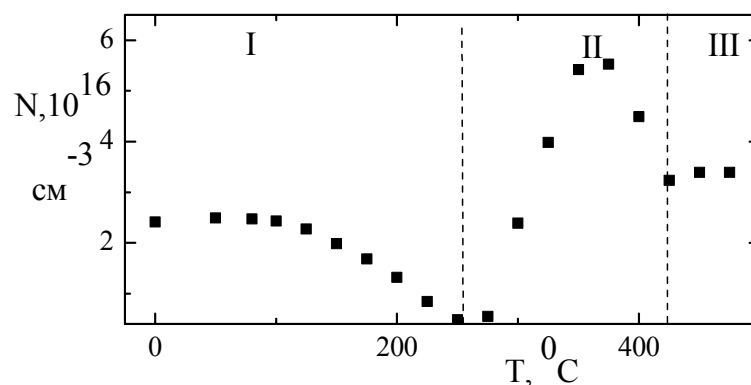


Рис. 3. Изохронный (20 мин) отжиг кремния, имплантированного протонами

Таким образом, в кремнии, обработанном в водородной плазме и имплантированном протонами, обнаружен новый тип Н-доноров, образующийся, по-видимому, без участия радиационных дефектов и без последующей термообработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Leitch A.W.R., Weber J., Alex V. Formation of hydrogen molecules in crystalline silicon/ Mat.Science and Eng. 1999. Vol.B58. P.6.
2. Laven J.G., Job R., Schulze H.I., Niedernostheide F.G. Activation and dissation of proton-induced donor profiles in silicon/ 2013. Vol.2(9). P.389

### ЗАТУХАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ СТРУКТУР МЭМС В АТМОСФЕРЕ

С. В. Редько, Е. Б. Чубенко, В. А. Петрович, В. П. Бондаренко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
ml.redkov@gmail.com*

МЭМС устройства, такие как резонаторы и датчики, часто эксплуатируются в условиях газообразной или даже жидкой среды. Любая вязкая среда является причиной избыточного гашения механических колебаний в осциллирующей системе, находящейся в данной среде. Таким образом, обычный атмосферный воздух может стать определяющим фактором добротности осциллирующей системы и, следовательно, эффективности всего прибора в целом. Очевидно, что для изготовления устройства, характеристики которого предсказуемы и отвечают заданным требованиям, необходимо еще на этапе разработки численно оценивать влияние вязкой среды на параметры осциллирующей системы [1].