

4. Goltsova M. V. Kinetics of reverse $\beta \rightarrow \alpha$ hydride transformation in thermodynamically open palladium–hydrogen system / M. V. Goltsova, Yu. A. Artemenko, V. I. Zaitsev // J. Alloys and Compounds. – 1999. – Vols 293–295. – P. 379–384.

УДК 539.24

**ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ
ПЛАСТИН МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ,
ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ГЕЛИЕМ И ОБРАБОТАННЫХ
ПЛАЗМЕ ВОДОРОДА**

Францкевич Н.В., Францкевич А.В., Мартинович В.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Возможность формирования глубинных протяженных дефектов в монокристаллическом кремнии при наличии в его решетке водорода или гелия с концентрацией 5-10 атомных процентов применяется для создания структур кремний на изоляторе по технологии Smart-Cut [1], методу, предложенному в [2,3], а так же для очистки объема пластины от примесей. Достижение данной концентрации химических элементов на заданной глубине в пластине достигается имплантацией соответствующих ионов дозами порядка $4-6 \times 10^{16}$ ат./см². Поэтому, с точки зрения удешевления данных технологий, интерес представляет возможность управляемой трансформации дефектного слоя путем предварительной имплантации водорода или гелия дозами менее 1×10^{16} ат./см². Дальнейшее развитие слоя происходит в результате геттерирования на нем водорода, вводимого в пластины из плазмы, и последующих отжигов при определенных температурах и соответствующей длительности. Главная цель данных исследований – определение экспериментальных условий, при которых после ионной имплантации и плазменной обработки на поверхности пластин кремния образуется минимальное количество дефектов.

Стандартные пластины Cz кремния n-типа $4.5 \Omega\text{-cm}$ имплантировались ионами гелия при комнатной температуре с энергией 300 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{13}$, $5 \cdot 10^{14}$, $1 \cdot 10^{15}$ или $5 \cdot 10^{15}$ ат./см².

Рассчитанный проективный пробег R_p имплантированных ионов при комнатной температуре эквивалентен 2 мкм. После внедрения ионов гелия образцы отжигались в вакууме при температуре 800°C в течение 1 часа. После этого, водород вводился в кремний из DC плазмы при 350 или 450°C. Обработка образцов для каждой из температур проводилась одновременно для всех образцов, имплантированных разными дозами. Энергия ионов во время плазменной обработки составляла 2 кэВ, длительность обработки 30 минут при плотности тока 3 мкА/см². Изучение поверхности проводилось при помощи оптического и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO 4550. Спектры комбинационного рассеяния (КР) снимались при комнатной температуре на микроспектрометре, с использованием Ag^+ лазера с длиной волны 488 нм и выходной мощностью 20 мВт. Лазерное излучение фокусировалось на образце с использованием микроскопа (увеличение $\times 100$). Рассеянный сигнал анализировался с использованием дифракционной решетки (1800 мм⁻¹) и охлаждаемой ПЗС матрицы.

На рисунке 1 представлен образ поверхности полученный методом СЭМ (рис. 1а), и результаты КР (рис.1 б), полученные от пластин кремния, имплантированных гелием дозой (0.01, 0.1, 1 и 5)·10¹⁵ ат/см², отожженных при 800°C в течении 60 минут и обработанных в плазме водорода при 350°C.

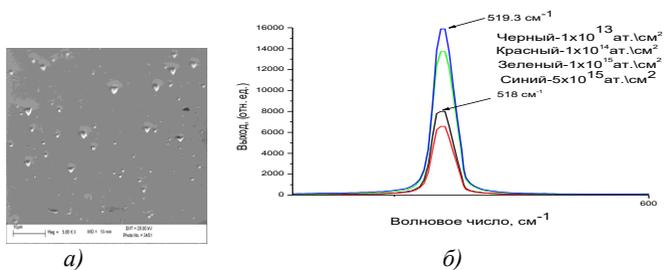


Рис. 1(а,б). Образ СЭМ поверхности образца кремния, содержащего поверхностные дефекты (а), и данные КР (б) для образцов кремния n-типа, 4.5Ω·см, имплантированных гелием дозой (0.01, 0.1, 1 и 5)·10¹⁵ ат/см², отожженных при 800°C в течении 60 минут, и обработанных в плазме водорода при 350°C.

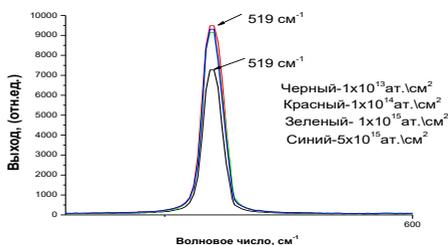
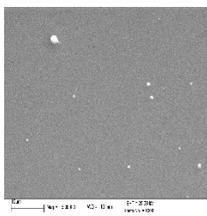


Рис. 2(а,б). Образ СЭМ поверхности образца кремния, содержащего поверхностные дефекты (а), и данные КР (б) для образцов кремния p-типа, $4.5\Omega\cdot\text{cm}$, имплантированных гелием дозой $(0.01, 0.1, 1 \text{ и } 5) \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$, отожженных при 800°C в течении 60 минут, и обработанных в плазме водорода при 450°C .

На рисунке 2 представлен образ поверхности полученный методом СЭМ (рис. 2а), и результаты КР (рис.2 б), полученные от пластин кремния, имплантированных гелием дозой $(0.01, 0.1, 1 \text{ и } 5) \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$, отожженных при 800°C в течении 60 минут и обработанных в плазме водорода при 450°C .

Как видно из представленных на рисунках 1а и 2а данных СЭМ, после обработки пластин кремния в плазме водорода на их поверхности образуются дефекты с плотностью распределения, зависящей от температуры плазменной обработки. Сопоставим эти данные с результатами КР для основной линии кремния (521 см^{-1}), представленными на рисунках 1б и 2б. Интенсивность пика зависит от дозы имплантированного гелия и максимальна для образцов, имплантированных флюенсом $5 \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$. Местоположение максимума пика имеет значение 518 см^{-1} для образцов, имплантированных флюенсом $(0.1 \text{ и } 1) \cdot 10^{14} \text{ ат./см}^2$ и обработанных при 350°C . Для образцов обработанных при 450°C , для любых доз имплантации, а так же обработанных при 350°C , и имплантированных гелием дозами $(1 \text{ и } 5) \cdot 10^{15} \text{ ат./см}^2$, это значение составляет 519 см^{-1} . Согласно исследованиям [4], изменение интенсивности сигнала КР, в частности его уменьшение, свидетельствует о появлении дополнительных дефектов по сравнению с исходным кремнием. Сдвиг линии сопоставляется

тому, какие напряжения эти дефекты вносят: растяжения или сжатия. Наблюдаемые напряжения растяжения характерны в случае аморфизации поверхности пластин кремния, обусловленной как результатом ионной имплантации, воздействием плазмы водорода, а так же присутствием в решетке кремния водорода.

Итак, кратко суммируем полученные результаты СЭМ и КР:

1. На поверхности пластин кремния, предварительно имплантированных гелием, отожженных и обработанных в плазме водорода при выбранных условиях обработки, формируются поверхностные дефекты.

2. С увеличением температуры плазменной обработки количество поверхностных дефектов уменьшается.

3. Максимальное количество поверхностных дефектов наблюдается при минимальных дозах имплантированного гелия. С увеличением дозы имплантации количество поверхностных дефектов уменьшается.

Полученный результат, а именно, уменьшение количества поверхностных дефектов с увеличением дозы имплантированного гелия и увеличения температуры во время плазменной обработки, косвенно свидетельствует о том, что для формирования эффективного глубинного геттерного слоя достаточно дозы имплантированного гелия 1×10^{14} ат./см².

Литература

1. Terreault, B. Hydrogen blistering of silicon: Progress in fundamental understanding / B. Terreault // *Physica Status Solidi. A.* – 2007. – Vol. 204, № 7. – P. 2129–2184.
2. Frantskevich, N. Buried Insulating Layer Formation in Cz Si Wafers after Helium Implantation, Nitrogen Plasma Treatment and Annealing / N. V. Frantskevich, A. V. Frantskevich, A. K. Fedotov, A. V. Mazanik // *Solid State Phenomena.* – 2009. – Vol. 156 – 158. – P.91 – 94.
3. Frantskevich, A. Formation of nanotubes in Cz Si wafers using He+ implantation and subsequent O+- or N+-plasma treatment /A.V.

Frantskevich и др. // Vacuum. – 2009. – Vol. 83, Supplement 1. – P. S103–S106.

4. De Wolf, I. Micro-Raman spectroscopy to study local mechanical stress in silicon integrated circuits / Ingrid De Wolf // Semiconductor Science and Technology. – 1996. – Vol. 11, № 2. – P. 139–154.

УДК 535

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ НАГРЕТОГО ТЕЛА И МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Смурага Л.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

На рис.1 изображена схема установки, на которой обрабатывался метод определения степень черноты нагретого тела и максимальной длины волны излучения. В качестве нагретого тела использовалась лампа накаливания 1. С помощью блока питания 4 и коммутационного блока 5 подавалось напряжение U на лампу 1. Напряжение регистрировалось вольтметром В7-27А/1 2, а сила тока I – с помощью В7-27А/1, адаптированного под амперметр 3.

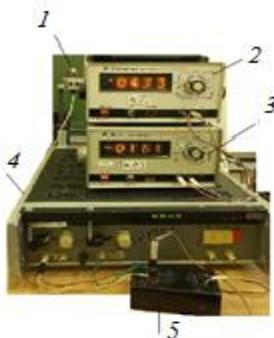


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.