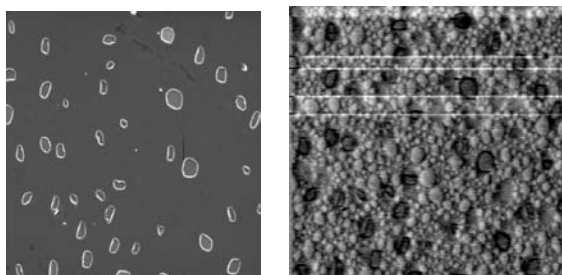


В ВИМС исследованиях, в результате ионного распыления преимущественно будет распыляться те области кремния, с которых быстрее стекает заряд, т.е. под которыми диэлектрика нет, или его толщина меньше по сравнению с окружающими областями. Независимо от того, какой из моделей (рисунок 3 а,б) соответствует структура глубинного слоя, присутствие островков в кратере травления объясняется наличием слоя с изолирующими свойствами под слоем кремния.

Для ответа на вопрос, какой из представленных на рисунке 3 моделей соответствует синтезированный глубинный  $\text{Si}_x\text{N}_y$  слой, проводились исследованиями СЭМ в режиме SEBIV, результаты представлены на рисунке 4 а,б.



а)

б)

Рисунок 4 – Образ поверхности образца 1, во вторичных электронах, и в режиме поверхностно индуцированного потенциала

Как видно из представленных на рисунке 4, б данных, структура buried layer представляет

собой островковые образования, однако большая их часть в отличие от островков проявившихся на поверхности, имеет значительно меньшие размеры – 2–3 мкм.

По совокупности представленных данных получаем:

- в области предварительно созданных радиационных дефектов геттерруется азот;
- диффузия и геттерирование азота происходит при температурах не выше 700 °С, хотя образование островковой структуры непосредственно после плазменной обработки при 300 °С, может указывает на то, что данный процесс происходит при более низкой температуре.

Отжиг при 700 °С приводит к изменению электрических свойств buried layer, что обусловлено вероятнее всего образованием нитрида кремния. Структура buried layer соответствует представленной на рисунке 3(б).

#### Литература

1. A.V. Franzkevich, Anis M.H. Saad, A.V. Mazanik, A.K. Fedotov, E.I. Rau, S.V. Chigir // Solid State Phenomena, V. 95-96 (2004). P. 571-576.
2. A.V. Frantskevich, A.K. Fedotov, N.V. Frantskevich, A.V. Mazanik, E.I. Rau, V.S.Kulinkayskas // Material Science and Engineering B, Vols. B124-125 (2005). P. 341-344.
3. E.I. Rau, A.N. Zhukov and E.B. Yakimov // Inst. Phys. Conf. Ser. No 160 (1997), p. 75.

УДК 621.315.592

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИН МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ВОДОРОДА ИЛИ ГЕЛИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

**Францкевич Н.В., Францкевич А.В., Шеденков С.И.**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

В работах [1] изучалась возможность создания глубинного изолирующего слоя в пластинах монокристаллического кремния, в результате геттерирования азота или кислорода, вводимых в кремний из DC плазмы, на предварительно созданный глубинный дефектный слой. Формирование глубинного дефектного слоя происходило в результате предварительной имплантации водорода дозами  $(2-4) \times 10^{16}$  ат./см, и последующего отжига. Эффект геттерирования разного рода примесей на дефектах, в том числе и радиационных, достаточно изученное явление и имеет практические применения. Однако, на момент начала исследований, неисследованной областью была возможность управляемого развития предварительно созданного дефектного

слоя дозами имплантации менее  $1 \times 10^{16}$  ат./см. водорода или гелия. Дальнейшее развитие слоя планировалось в результате геттерирования на нем водорода или гелия, вводимых из плазмы, и последующих отжигов, при определенных температурах и соответствующей длительности. Такой подход мог удешевить предложенный в [1,2] метод создания структур кремний на изоляторе. В ходе проведения соответствующих исследований, было обнаружено, что при определенных режимах обработки, на поверхности пластин происходит образование конических структур, которые могут иметь самостоятельное практическое применение. Главная цель данной работы – представление экспериментальных данных позволяющих сравнить условия формирования поверхностных

структур, возникающих на поверхности пластин кремния после плазменной водородной обработки, в случае их предварительной имплантации водородом или гелием.

Стандартные пластины Cz кремния n-типа  $4.5 \text{ } \Omega\text{-cm}$  имплантировались ионами водорода при комнатной температуре с энергией 100 кэВ и дозой  $1 \cdot 10^{15}$ ,  $5 \cdot 10^{15}$ ,  $1 \cdot 10^{16}$  ат/см<sup>2</sup>.  $R_p$  имплантированных ионов составляет 0,9 мкм. После этого, водород вводился в кремний из DC плазмы при 250 или 300°C. Энергия ионов во время плазменной обработки составляла 2 кэВ, длительность обработки 30 минут при плотности тока 3 мкА/см<sup>2</sup>. Одновременно с имплантированными образцами обрабатывались, контрольные, не имплантированные. Поскольку изменения поверхности после плазменной обработки не наблюдалось, данные результаты не приводятся. Спектры комбинационного рассеяния снимались при комнатной температуре на микроспектрометре с использованием  $\text{Ar}^+$  лазера с длиной волны 488 нм и выходной мощностью 20 мВт. Лазерное излучение фокусировалось на образце с использованием микроскопа (увеличением  $\times 100$ ). Рассеянный сигнал анализировался с использованием дифракционной решетки ( $1800 \text{ mm}^{-1}$ ) и охлаждаемой ПЗС матрицы. Изучение поверхности проводилось при помощи оптического микроскопа.

На рисунке 1 (а, б, с) представлен образ поверхности пластин кремния полученный с помощью оптического микроскопа, с образцов имплантированных водородом с энергией 100 кэВ и дозой  $1 \cdot 10^{15}$ ,  $5 \cdot 10^{15}$ ,  $1 \cdot 10^{16}$  ат/см<sup>2</sup> и обработанных в плазме водорода при 250 °С.



Рисунок 1 – Образ поверхности, полученный в оптическом микроскопе для образцов кремния  $4.5 \text{ Ом}$ , имплантированных водородом дозами 0,1, 0,5 и  $1 \times 10^{16}$ , и обработанных в плазме водорода при 250 °С

Как видно из представленных данных, имплантация дозой  $1 \times 10^{16}$  и плазменная обработка приводит к блистеренгу на поверхности пластины который наблюдается обычно после имплантации водорода дозами выше  $4 \times 10^{16}$  и отжига при температурах выше 400 °С.

Согласно существующей теории блистеринга, образование водородной молекулы в материалах содержащих порядка 7-10 % водорода, приводит к их механическому разрушению, т. е. блистерингу. Одним из методов позволяющих идентифицировать

молекулярный водород, в том числе локализованный в кремнии, является метод комбинационного рассеяния. Кроме этого, Рамановский сдвиг основной линии кремния или изменение ее формы позволяет детектировать присутствие аморфного, поликристаллического кремния или наличие растягивающих/сжимающих напряжений [2].

Результаты комбинационного рассеяния для пластин кремния, обработанных в плазме водорода при 250°C, представлены на рисунке 2.

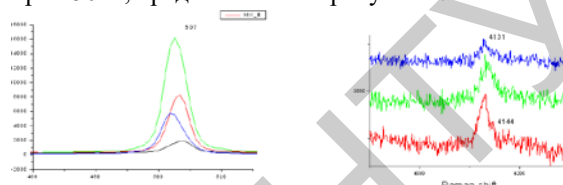


Рисунок 2 – Спектры комбинационного рассеяния от образцов Cz Si имплантированных водородом дозами 0,1, 0,5,  $1 \times 10^{16}$  ат/см<sup>2</sup> и обработанных в плазме водорода при 250 °С. Спектральный диапазон соответствует основной линии кремния (слева), водородной молекулы – справа

Как видно из представленных данных, с увеличением дозы предимплантированного водорода происходит смещение основной линии кремния в сторону больших длин волн, свидетельствующее о аморфизации поверхности образцов. Для водородной молекулы с увеличением дозы имплантации интенсивность пика уменьшается. С увеличением степени аморфизации поверхности образца количество молекулярного водорода уменьшается, что вполне закономерно.

Образцы кремния обработанные в плазме водорода при 300°C. так же исследовались в оптическом микроскопе, и методом комбинационного рассеяния. Исследование в оптическом микроскопе не выявило значительных различий по сравнению с образцами, обработанными при 250 °С, для аналогичных доз пред имплантированного водорода. В то же время, на данных комбинационного рассеяния, представленных на рисунке 3, есть заметные отличия.

Если вклад линии от бездефектного кремния ( $521 \text{ cm}^{-1}$ ), практически не зависит от дозы имплантации, то вклад от дефектных областей с напряжениями сжатия ( $527 \text{ cm}^{-1}$ ), увеличивается с увеличением дозы пред имплантированного водорода.

Одновременно с образцами, имплантированными водородом, в плазме водорода обрабатывались стандартные пластины Cz кремния n-типа  $4,5 \text{ Мсм}$  имплантированных ионами гелия при комнатной температуре с энергией 300 кэВ,  $R_p = 2 \text{ мкм}$ , дозами  $1 \cdot 10^{15}$ ,  $5 \cdot 10^{15}$ ,  $1 \cdot 10^{16}$  ат/см<sup>2</sup> и отожженными в вакууме при температуре 800 °С в течение 1 часа.

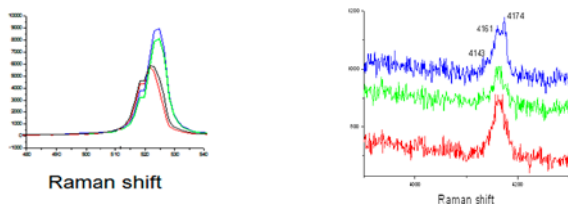


Рисунок 3 – Спектры комбинационного рассеяния от образцов Cz Si имплантированных водородом дозами 0,1,  $0,5 \times 10^{16}$  и  $1 \times 10^{16}$  ат/см<sup>2</sup> и обработанных в плазме водорода при 300 °С.

На рисунке 4 представлены данные СЭМ, полученные с поверхности образца кремния, имплантированного гелием дозой  $5 \cdot 10^{15}$  ат/см<sup>2</sup> и обработанных в плазме водорода при 300 °С.

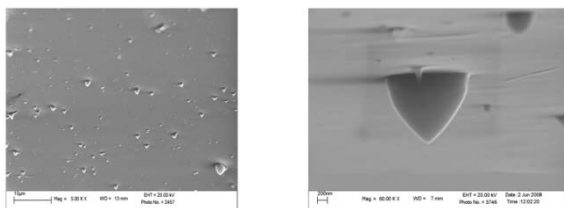


Рисунок 4 – Образ СЭМ поверхности образца кремния, содержащего массив образований и одиночное коническое образование.

Как видно из рисунка 4, на поверхности кремниевой пластины, после соответствующих

обработок, формируется массив конических поверхностных образований.

Данные комбинационного рассеяния, представлены на рисунке 5.

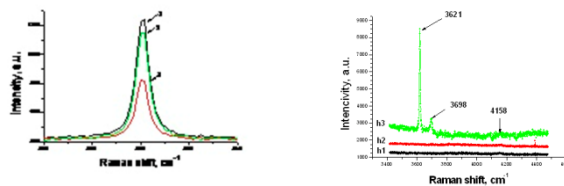


Рисунок 5 – Данные комбинационного рассеяния в спектральном диапазоне, соответствующем основной линии кремния (слева) и положению водородной молекулы в решетке кремния (справа)

Из представленных данных видно, что конические образования не имеют напряжений растяжения/сжатия, и сигнал сопоставляемый водородной молекуле, не наблюдается.

#### Литература

1. N.V. Frantskevich, A.V. Frantskevich, A.K. Fedotov, A.V. Mazanik // Journal: Solid State Phenomena. – 2009. – Vol. 156–158. – P.91-94.
2. Bernard Terreaux, Phys. stat. sol. (a) 204, No. 7, 2129–2184 (2007).

УДК 621.371.39

### КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ТИТАНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ

**Бойправ О.В., Богущ Н.В., Лыньков Л.М.**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

Одним из факторов, определяющих надежность работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), является ее защищенность от воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) СВЧ-диапазона. В настоящее время это обеспечивается путем электромагнитной развязки контуров такой аппаратуры либо путем металлизации корпусов, в которые заключены ее излучающие элементы. Однако следствием реализации второго из указанных способов может являться возникновение переотраженных электромагнитных волн. Эти волны, будучи наведенными на проводные линии, по которым передаются сигналы управления РЭА, оказывают влияние на надежность функционирования последней. Решение такой проблемы реализуется путем снижения напряженности ЭМИ, переотражаемого от металлизированных корпусов рассматриваемой аппаратуры. Для этого на них наносят материалы, характеризующиеся диэлектрическими или магнитными свойствами [1]. В качестве таких материалов в

работе предлагается использовать композиты с наполнителями, содержащими титановые соединения. К ним относятся порошкообразные диоксид титана и титаномагнетит, которые по сравнению с иными порошковыми структурами, обеспечивающими потери энергии ЭМИ, характеризуются невысокой стоимостью.

Получение предложенных композитов реализовано с помощью метода литьевого прессования. При этом в качестве матрицы применялся кремнийорганический полимер. Выбор последнего обусловлен тем, что материалы на его основе характеризуются свойством гибкости (при условии, что объем полимера составляет, как минимум, 50 % от общего объема материала).

Экспериментальное обоснование эффективности использования предложенных композитов в целях снижения напряженности ЭМИ, переотражаемого от металлических материалов, выполнялась путем оценки значений их коэффициента отражения. При этом