

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ В ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ В ОБЛУЧЕННЫХ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУРАХ

Макаренко Л.Ф.¹⁾, Коршунов Ф.П.²⁾, Ластовский С.Б.²⁾, Гуринович В.А.²⁾,
Казючиц Н.М.¹⁾, Русецкий М.С.¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, г.Минск

²⁾ Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси, г.Минск

Эффективным методом повышения радиационной стойкости приборов и интегральных схем является легирование кристалла кремния примесями, уменьшающими скорость введения наиболее "вредных" радиационных дефектов (РД). Так, уменьшить воздействие гамма-излучения позволяет легирование кремния кислородом [1]. В то же время было установлено, что повышение содержания примеси кислорода не решает проблему увеличения радиационной стойкости по отношению к нейтронному излучению [1]. Такой примесью, по нашему мнению, мог бы быть водород. Как известно, водород эффективно пассивирует оборванные связи [2]. Поскольку электрическая активность радиационных дефектов вакансионного типа связана именно с наличием оборванных связей, то можно ожидать, что результатом взаимодействия водорода и РД будут нейтральные комплексы. Это подтверждается рядом экспериментов [3].

Целью работы является исследование влияния обработки в водородной плазме на скорость образования и отжига радиационных дефектов и других электрически активных комплексов в кремниевых р-п структурах, изготовленных на основе высокоомного ($\rho=2-4$ кОм) материала.

Гидрогенизацию детекторов проводили при температуре 300 °С в плазме тлеющего разряда при постоянной плотности ионного тока $0,2 \div 2$ мкА/см². Напряжение разряда не превышало 500 В.

Одним из методов оценки глубины проникновения водорода в кристаллы Si, содержащие кислород, является регистрация распределения термодоноров, образование которых ускорено водородом [4]. Оказалось, что для "детекторного" кремния с низким уровнем легирования применение этого метода имеет ограничения, связанные, прежде всего, с образованием нового вида термодоноров. На рисунке 1 представлено изменение профиля распределения термодоноров в гидрогенизированных детекторных структурах под действием последующего изохронного отжига. Как видно из рисунка, отжиг при температуре 200 °С приводит практически к полному исчезновению термодоноров во всей области базы, кроме прилегающей к n^+ -контакту ($x \geq 240$ мкм).

Следует отметить, что заданный гидрогенизацией профиль термодоноров изменяется даже при комнатной температуре во время хранения диодов.

Таким образом, термообработка детекторных структур в H^+ -плазме при 300 °С формирует два типа термодоноров: стабильные, образующиеся вблизи n^+ -контакта (СТД) и нестабильные при комнатной температуре (НСТД), распространяющиеся практически на всю толщину базы.

Образование НСТД при 300 °С обработке в H^+ -плазме и их исчезновение в результате последующего отжига на воздухе при температурах ≤ 250 °С воспроизводится при повторных экспериментах. Связь с водородом этих центров не установлена и для выяснения их природы требуются дополнительные эксперименты.

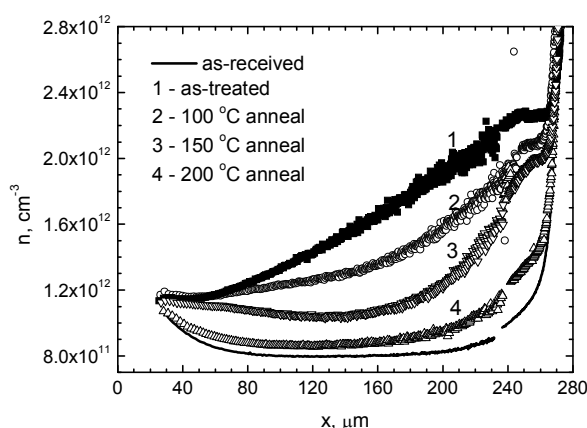


Рис. 1. Изменение распределения концентрации носителей заряда в детекторной структуре с высоким содержанием кислорода после гидрогенизации (1) и последующего изохронного ($t=30$ мин) отжига (2-4). Линией показано исходное распределение

С влиянием водорода можно связать, по-видимому, только STD, образующиеся вблизи n^+ -контакта. Из профиля их распределения можно оценить глубину проникновения водорода как не превышающую значение $d_H \cong 40$ мкм.

Другим маркером, свидетельствующим о наличии водорода в кремнии, может быть комплекс вакансия-кислород-водород (VOH) [3]. Этот комплекс образуется в результате присоединения одного атома водорода к радиационному дефекту вакансия-кислород (VO).

Оба дефекта являются электрически активными и для их регистрации весьма эффективны DLTS измерения. Пики DLTS спектров, связанные с ионизацией этих дефектов представлены на рисунке 2. Их идентификация и параметры дефектных центров приведены в [5].

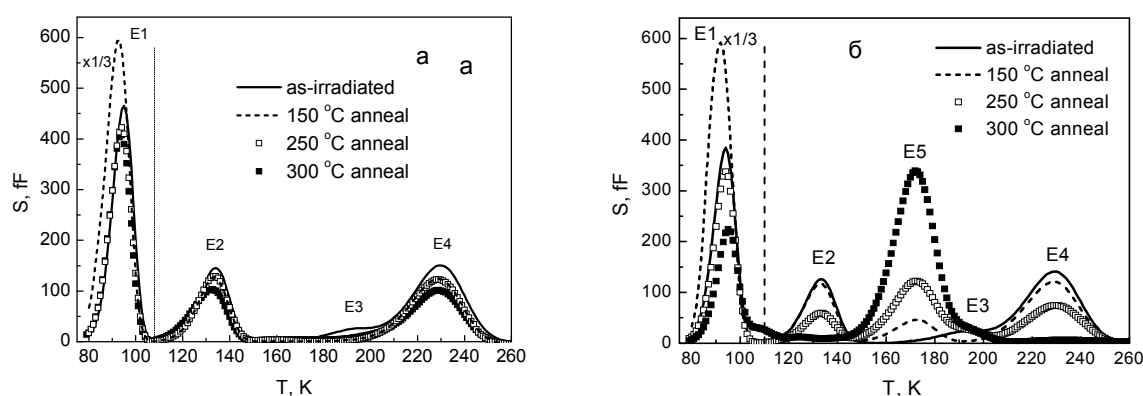


Рис. 2. Сравнение DLTS спектров для необработанного (а) и обработанного в водородной плазме (б) стандартного FZ диода, после облучения быстрыми электронами при комнатной температуре и 30-мин изохронного отжига с шагом 50 °C. Доза облучения составляла 3×10^{12} см $^{-2}$ ($E=3.5$ МэВ). Параметры измерения: окно скоростей = 190 с $^{-1}$, смещение $-5 \rightarrow -0$ В, и длительность импульса заполнения 10 мс

Отжиг радиационных дефектов сопровождается изменением профиля распределения концентрации носителей заряда в базе детекторов, которые представлены на рисунке 3. При температуре 250 °С полностью отжигаются НСТД, что позволяет наблюдать образование широкой области повышенной концентрации доноров вблизи p^+ -контакта. С повышением температуры отжига до 300 °С эта область смещается к p^+ -контакту с увеличением своей амплитуды. Величина смещения составляет более 100 мкм.

Повышенная концентрация донорных центров связана с примесью водорода, т.к. наблюдается только в гидрогенизированных структурах. Кроме того, область с повышенной концентрацией донорных центров совпадает с наблюдаемой глубиной формирования VОН центров.

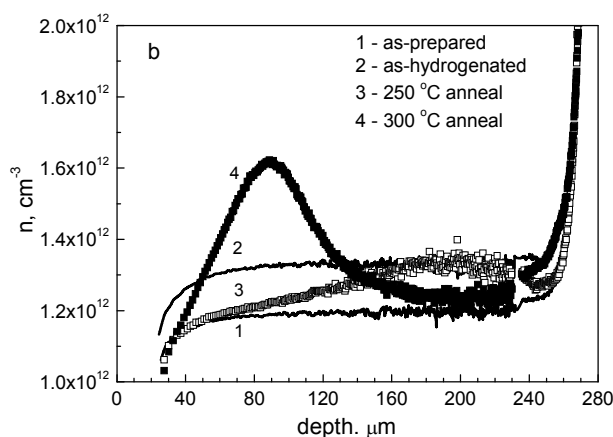


Рис. 3. Изменение распределения носителей заряда в области базы типичной кремниевой детекторной структуры, обработанной в водородной плазме и облученной быстрыми электронами с энергией 3,5 МэВ после изохронного отжига с шагом 50 °С

Таким образом, имеет место проникновение водорода на глубину большую, чем непосредственно в процессе плазменной обработки при этой же температуре ($d_H \leq 40 \mu\text{m}$). То есть имеет место нелинейная диффузия очень подвижных частиц. Наблюдаемое различие в диффузионных длинах для этих двух случаев возможно обусловлено образованием быстро диффундирующих частиц в результате взаимодействия водорода с радиационными дефектами.

Обнаружено образование комплексов радиационных дефектов с участием водорода и формирование новых донорных центров, которые позволяют оценить глубину проникновения водорода в базу кремниевых детекторов.

В гидрогенизированных и облученных детекторных структурах наблюдается радиационно-ускоренная диффузия водорода.

Литература

- [1] M. Bruzzi et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 541 (2005) 189.
- [2] S.J. Pearton et al. Hydrogen in Crystalline Semiconductors. Springer, Berlin, 1992.
- [3] O.V. Feklisova, N. Yarykin // Semicond. Sci. Techn., 12, 742 (1997).
- [4] R. C. Newman et al. // J. Appl. Phys. 70, 3061 (1991).
- [5] L. F. Makarenko, F. P. Korshunov, S. B. Lastovski., N. I. Zamyatin // Semiconductors. 37, 611 (2003).
- [6] V. P. Markevich, L. I. Murin, M. Suezawa, J. L. Lindström, J. Coutinho, R. Jones, P. R. Briddon, and S. Öberg // Phys. Rev. B 61, 12964-12969 (2000).