

05.2; 06.1; 06.2

© 1991

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБЛУЧЕННОГО γ -КВАНТАМИ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО n -Si

Н.В. Ш л о п а к, Ю.А. Б у м а й,
А.Г. У л ь я ш и н

В настоящее время проводятся интенсивные исследования эффекта пассивации атомарным водородом мелких и глубоких примесей и дефектов в полупроводниках, в том числе и дефектов, создаваемых в результате радиационных воздействий [1-3]. В частности, с помощью нестационарной спектроскопии глубоких уровней было обнаружено уменьшение концентрации вводимых γ -облучением глубоких уровней в кремнии, предварительно обработанном в водородной плазме [4]. В работах [5, 6] сообщается о водородной пассивации введенных предварительным облучением глубоких уровней радиационных дефектов в кремнии. Вместе с тем, характер изменения концентрации и подвижности основных носителей заряда в гидрогенизированном кремнии при радиационном воздействии не исследован.

В настоящей работе исследовалось влияние различных доз облучения γ -квантами Co^{60} на концентрацию и подвижность электронов в гидрогенизированном n -Si.

В качестве объекта исследования использовались эпитаксиальные (2 мкм) слои кремния, легированные фосфором, с удельным сопротивлением 1 Ом см на подложках p -типа проводимости. Концентрация и подвижность электронов определялись с помощью измерений эффекта Холла и проводимости методом Ван дер Пау при 78 и 293 К. Омические контакты были изготовлены напылением и последующей диффузией ($T=500$ °С, 10 мин) алюминия. Профили распределения концентрации электронов в исследуемых слоях измерялись при комнатной температуре методом вольт-фарадных ($C-V$) характеристик с помощью ртутного зонда на частоте 1 МГц. Гидрогенизация образцов проводилась в гелем разряде водорода в камере для реактивного ионного травления в течение 20 мин при температурах 50-100 °С [7]. Для освобождения водорода, входящего в состав комплексов фосфор-водород (P-H), образующихся в результате гидрогенизации, часть образцов после обработки в водородной плазме отжигалась при температуре 250 °С в течение 15 минут на воздухе. Облучение образцов проводилось от источника Co^{60} интенсивностью $6.1 \cdot 10^{11}$ см⁻² с⁻¹.

Перед облучением образцы были разделены на три группы: I - контрольные (негидрогенизированные) образцы; II - гидрогенизированные образцы; III - гидрогенизированные и отожженные после гидрогенизации образцы.

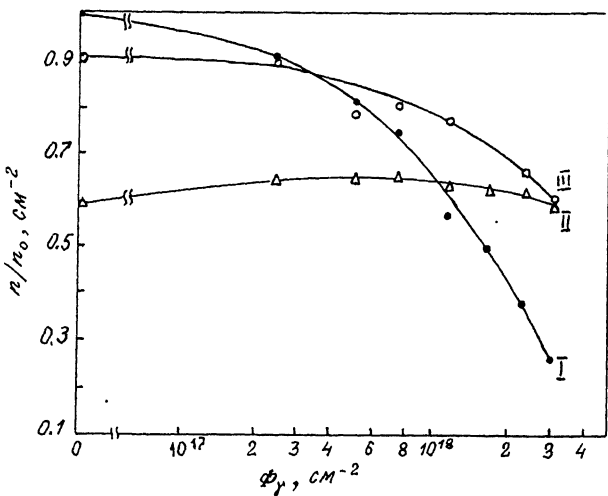


Рис. 1. Зависимость нормированной концентрации электронов в n -Si от дозы облучения γ -квантами Co^{60} : I - контрольные образцы, II - гидрогенизированные, III - гидрогенизированные и отожженные после гидрогенизации образцы.

На рис. 1 представлены зависимости концентрации электронов, нормированной к величине исходной концентрации (до обработок), при температуре 78 К от дозы облучения γ -квантами для всех групп образцов. Как видно из рисунка, для контрольных образцов (группа I), начиная с дозы $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, наблюдается сильное уменьшение концентрации электронов за счет компенсации радиационными дефектами. При дозе $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ концентрация электронов составляет 26 % от исходной. Вместе с тем в гидрогенизированных образцах в интервале доз $2 \cdot 10^{17} - 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ наблюдается обратный процесс - небольшое увеличение концентрации электронов. Такое anomalous поведение концентрации можно объяснить распадом нейтральных Р-Н комплексов в результате нагрева образцов во время облучения до температуры 80-85 °С при поглощении γ -квантов. Этот процесс сопровождается наблюдаемым из С-V измерений частичным восстановлением профилей распределения концентрации электронов в этих образцах. Основная роль температурно-временного фактора в процессе распада Р-Н комплексов в образцах группы II при облучении γ -квантами подтверждается расчетами кинетики распада на основе выражения для химической реакции

первого рода $\frac{n_H}{n_0} = \exp\left[-\nu \cdot \exp\left(-\frac{E_d}{kT}\right) \cdot t\right]$ [8], где $\frac{n_H}{n_0}$ - доля

нераспавшихся Р-Н комплексов; E_d - энергия связи комплекса; ν - частотный фактор; T - температура; t - время отжига. Зна-

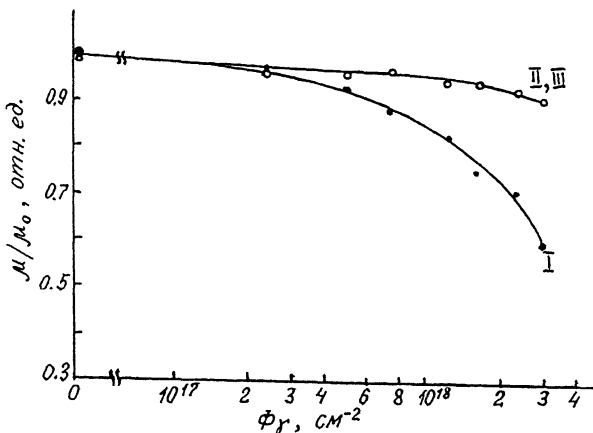


Рис. 2. Зависимость нормированной подвижности электронов в $n-Si$ от дозы облучения γ -квантами Co^{60} : I - контрольные образцы, II - гидрогенизированные, III - гидрогенизированные и отожженные после гидрогенизации образцы.

чения $E_d = 1.32$ эВ и $\nu = 10^{13} \text{ с}^{-1}$ приведены в работе [8]. Расчеты показывают, что при используемых нами условиях облучения (температурный интервал нагрева образца $80-85^\circ \text{C}$ и время облучения 200 час, что соответствует дозе облучения $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$) должно распадаться соответственно 61-82 % Р-Н комплексов. Эти значения являются достаточно близкими к процентному содержанию распавшихся Р-Н комплексов (47-58 %) в образцах группы II, рассчитанному из значений концентраций в этих образцах с учетом эффекта удаления носителей заряда при облучении. Некоторое несовпадение в данном случае вероятно связано с тем, что наряду с распадом Р-Н комплексов при облучении может происходить и их образование.

В образцах группы III при дозе $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ концентрация электронов, составляет 60 % от исходного значения, т.е. значительно больше, чем в контрольных образцах, что свидетельствует о более низкой скорости введения радиационных дефектов в образцах этой группы. Об уменьшении скорости введения радиационных дефектов в гидрогенизированный кремний свидетельствуют и дозовые зависимости нормированной подвижности электронов при температуре 78 К (рис. 2). Из рис. 2 видно, что в гидрогенизированных образцах как группы II, так и группы III, несмотря на дополнительную термообработку, скорость введения дополнительных рассеивающих центров, обусловленных радиационными дефектами, оказалась значительно ниже, чем в контрольных.

Необходимо отметить, что аналогичное поведение концентрации электронов при облучении наблюдается и при измерениях при 293 К.

Вместе с тем уменьшение концентрации электронов при облучении в образцах всех групп при 293 К оказывается значительно меньше, чем при 78 К, что связано с ослаблением при более высокой температуре компенсирующего влияния радиационных дефектов с глубокими уровнями. Эффект увеличения концентрации электронов в образцах группы II по этой причине более ярко выражен при 293 К. Изменения подвижности при комнатной температуре в исследуемом диапазоне доз не наблюдалось. Это связано с тем, что при 78 К преобладает рассеяние электронов на ионизованных примесях и дефектах, в то время как при комнатной температуре основной вклад в рассеяние вносят тепловые колебания решетки.

Наблюдение эффекта пассивации в гидрогенизированных и отожженных образцах (группа III) дает основание предположить, что необходимый для пассивации атомарный водород образуется в процессе облучения из H_2 молекул, так как водород в кремнии при температурах, близких к комнатной, преимущественно находится в молекулярном виде [1]. При достаточно высокой интенсивности и большой длительности облучения происходит стимулируемый γ -квантами распад молекул H_2 , т.е. генерация атомарного водорода, который может эффективно захватываться как радиационными дефектами, так и легирующей примесью (P), приводят тем самым к эффекту пассивации. Однако вследствие того, что при температурах 80–85 °С интенсивно протекает и процесс распада комплексов водорода с мелким донором, захват водорода на глубокие центры и соответственно их пассивация преобладают, что и приводит к увеличению радиационной стойкости рассматриваемых структур.

Таким образом, на основе анализа влияния гидрогенизации на изменение концентрации и подвижности электронов в образцах $n-Si$ в результате облучения γ -квантами Co^{60} можно сделать вывод, что предварительное введение водорода в $n-Si$ из разряда приводит к повышению радиационной стойкости материалов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] P e a r t o n S.J., C o r b e t t J.W., S h i T.S. // Appl. Phys. A. 1987. V. 43. P. 153-195.
- [2] C h e v a l l i e r J., A u s c o u t u r i e r M. Ann. Rev. Mater. Sci. 1988. V. 18. P. 219-256.
- [3] О м е л ь я н о в с к и й Э.М., П о л ь к о в А.Я. // Высокочистые вещества. 1988. № 5. С. 5-19.
- [4] P e a r t o n S.J. // Phys. Stat. Sol. (A). 1982. V. 72. P. K73-K75.
- [5] К о в е ш н и к о в С.В., Н о с е н к о С.В., Я к и м о в Е.Б. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 5. С. 922-924.

- [6] Мукашев Б.Н., Токмолдин С.Ж., Тамендаров М.Ф., Абдуллин Х.А., Чихрай Е.В. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1020-1024.
- [7] Бумай Ю.А., Ульяшин А.Г., Шакин И.А., Шлопак Н.В. // ФТП. Т. 24. В. 12. С. 2141-2144.
- [8] Bergman K., Stavola M., Parton S.J., Lopata J. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. N 5. P. 2770-2773.

Белорусский
политехнический
институт,
Минск

Поступило в Редакцию
30 октября 1991 г.