

УДК 621.315.592

Особенности влияния фотовозбуждения *p*-Si *in situ* при имплантации малых доз ионов на формирование радиационных дефектов

© М.Ю. Барабаненков, А.В. Леонов, В.Н. Мордкович, Н.М. Омеляновская

Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук, 142432 Черногловка, Россия

(Получена 13 февраля 1998 г. Принята к печати 8 октября 1998 г.)

Методом DLTS исследовано влияние температуры и фотовозбуждения *p*-Si *in situ* при имплантации малых доз ионов на формирование комплексов радиационных дефектов. Образцы *p*-Si облучались ускоренными до 150 кэВ ионами Ar^+ дозой $7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ при температуре 300 и 600 К. Фотовозбуждение *p*-Si проводилось ультрафиолетовым излучением. Показано, что нерадиационный нагрев имплантируемых ионами образцов приводит к увеличению общей концентрации комплексов дефектов при одновременном изменении типа доминирующего комплекса, а ультрафиолетовая подсветка полупроводника подавляет дефектообразование. Обнаружено, что эффективность воздействия фотовозбуждения *in situ* на образование комплексов радиационных дефектов существенно уменьшается с ростом температуры мишени. Установлена немонотонная зависимость концентрации вторичных дефектов от интенсивности подсветки *p*-Si при внедрении ускоренных ионов. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных для *p*-Si, с уже известными данными для *n*-Si.

1. Введение

При исследовании образования комплексов дефектов в Si, имплантированном ионами с одновременным фотовозбуждением электронной подсистемы полупроводника ультрафиолетовым (УФ) излучением, авторы работ [1,2] не усматривали особенностей, связанных с исходным типом проводимости кремния. Вероятно, специфические свойства *n*- и *p*-Si не сказывались на конечном состоянии радиационных дефектов, так как при использованных в этих работах дозах имплантации концентрация электрически активных радиационных дефектов была много больше концентрации легирующей примеси. В таких условиях электрические свойства слоя Si уже не определяются исходным типом полупроводника и уровнем его легирования. Исключение должна составить лишь самая ранняя стадия имплантации, на которой количество дефектов меньше концентрации примеси. В предыдущей работе мы выделили эту раннюю стадию и изучили эффективность воздействия *in situ* фотовозбуждения *n*-Si на поведение именно точечных дефектов полупроводника при различных температурах.

В данной работе мы остановимся на особенностях образования простейших комплексов дефектов в *p*-Si, имплантированном малыми дозами ионов, обусловленных температурой и фотовозбуждением полупроводника *in situ* при имплантации.

2. Условия экспериментов

Пластины *p*-Si (КДБ-20, (100)) облучали ионами Ar^+ дозой $7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ при плотности ионного тока 1 нА/см^2 и энергии ускорения ионов 150 кэВ. Температура образцов *p*-Si при имплантации составляла $T_i = 300$ и 600 К в случае подогрева мишени с помощью печки (резистивный нагрев). Фотовозбуждение *n*-Si осуществлялось

светом лампы высокого давления. Плотность мощности светового потока на поверхности мишени составляла 4, 10 и 25 мВт/см².

Вольт-фарадные измерения, проведенные на контрольных образцах, показали, что степень компенсации Si после ионной имплантации не превышала 15%. Аналогично случаю *n*-Si [3] концентрация электрически активных дефектов в *p*-Si была значительно ниже концентрации легирующей примеси.

Параметры глубоких уровней, создаваемых радиационными дефектами, определялись методом нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS). Для проведения измерений на лицевой стороне облученных образцов методом термического распыления Au в вакууме формировали барьеры Шоттки, а на тыльной — омические контакты. Спектры DLTS измеряли при постоянном обратном смещении +2В и амплитуде импульса заполнения -2В. В приведенных далее по тексту спектрах DLTS пики H_1 ($E_v + 0.1 \text{ эВ}$), H_2 ($E_v + 0.28 \text{ эВ}$) и H_3 ($E_v + 0.38 \text{ эВ}$) могут быть обусловлены формированием следующих дефектов [4–6]. Согласно [4], "мелкая" ловушка для дырок H_1 ассоциируется с парами $Fe_i - B_S$. Пик H_2 обычно связывают с комплексом $V + O + B$ [5], V — вакансия. Пик H_3 соответствует K -центрам ($V + O + C$) или комплексам ($C + V_2 + O$), V_2 — дивакансия [6].

3. Результаты экспериментов и обсуждение

На рис. 1 показаны изменения в спектрах DLTS образцов *p*-Si, имплантированных ионами Ar^+ , вызванные нагревом кремния от комнатной температуры (кривая 1) до температуры 600 К (кривая 2). Как видно из рис. 1, увеличение температуры образцов T_i приводит к смене доминирующего пика в спектрах DLTS. Это означает, что

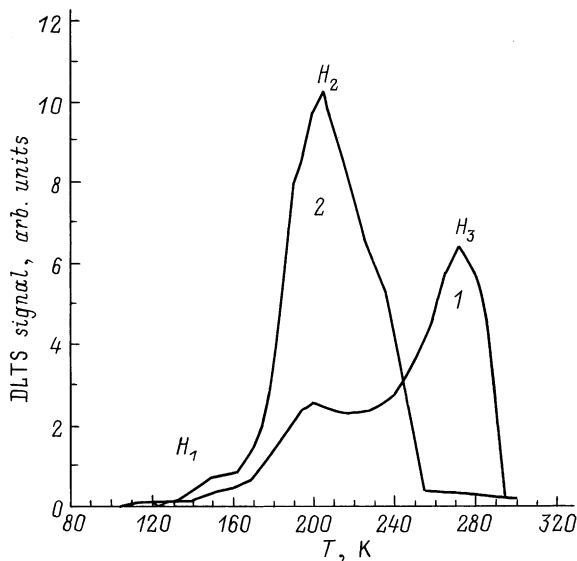


Рис. 1. Спектры DLTS образцов *p*-Si, имплантированных ионами Ag^+ дозой $7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ с энергией 150 кэВ при $T_i = 300$ (1) и 600 К (2).

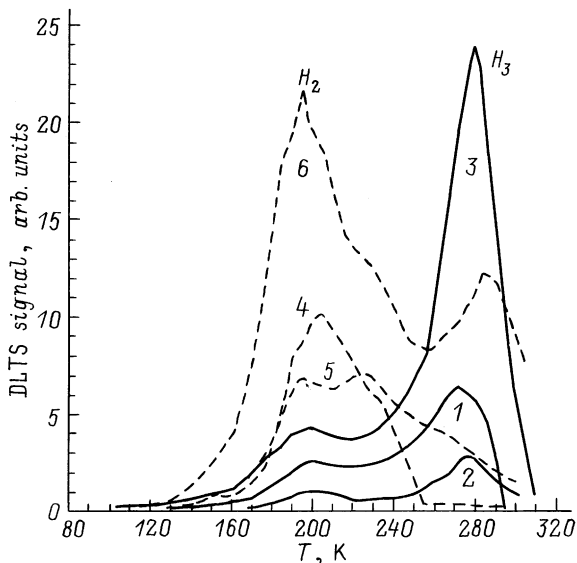


Рис. 2. Спектры DLTS образцов *p*-Si, имплантированных ионами Ag^+ дозой $7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ с энергией 150 кэВ при температурах $T_i = 300$ (1–3) и 600 К (4–6). Плотность мощности УФ подсветки, мВт/см²: 1, 4 — 0; 2 — 4; 3, 5 — 10; 6 — 25.

при комнатной температуре более эффективно образуются *K*-центры (пик H_3).

При повышенной температуре в основном формируются комплексы $V + O + V$ (пик H_2), при этом общее количество дефектов увеличивается (отношение площадей под кривыми 2 и 1 на рис. 1 равно ~ 1.3).

Влияние фотовозбуждения *p*-Si *in situ* при имплантации на образование комплексов радиационных дефектов показано на рис. 2. Как видно из рисунка, действия УФ подсветки и температуры кремния при бомбардировке

ионами Ar^+ в определенном смысле независимы: температура мишени определяет доминирующий по амплитуде пик (H_3 при 300 К и H_2 при 600 К), а подсветка приводит к масштабированию всего спектра по оси ординат. При этом независимо от температуры *p*-Si коэффициент масштабирования изменяется по мере увеличения плотности мощности подсветки от значений < 1 до величин > 1 . Действительно, на рис. 2 кривая 2 лежит ниже кривой 1, а кривая 3 — выше кривой 1. Аналогичным образом расположены кривые 5 и 6 относительно кривой 4.

Таким образом, фотовозбуждение *p*-Si с малой интенсивностью света приводит к уменьшению концентрации комплексов радиационных дефектов.

Спектры на рис. 2 позволяют оценить эффективность действия УФ подсветки на дефектообразование при ионной имплантации в *p*-Si. Действительно, рассмотрим кривые 3 и 5 на рис. 2, соответствующие одинаковым условиям фотовозбуждения, но разным температурам образцов при ионной бомбардировке. Величина отношения площадей под кривыми 3 и 1 почти в 5 раз превосходит величину отношения площадей, ограниченных кривыми 5 и 4. Это означает, что эффективность подсветки (по крайней мере в данном случае) значительно падает с ростом температуры мишени.

В завершение раздела подчеркнем основные полученные результаты. Во-первых, резистивный нагрев *p*-Si до 600 К во время ионной имплантации приводит к увеличению концентрации вторичных дефектов, а УФ подсветка кристалла малой интенсивности, напротив, подавляет их образование. Во-вторых, эффективность воздействия фотовозбуждения *p*-Si *in situ* на образование комплексов дефектов значительно уменьшается с увеличением температуры полупроводника. И наконец, в-третьих, концентрация радиационных дефектов с ростом интенсивности подсветки (в диапазоне плотностей мощности света от 0 до 25 мВт/см²) изменяется немонотонным образом.

4. Заключение

В настоящей работе исследовано воздействие резистивного нагрева и фотовозбуждения электронно-дырочной подсистемы *p*-Si *in situ* при имплантации в полупроводник малых доз ($\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$) ионов Ar^+ на формирование простейших комплексов радиационных дефектов. Основные результаты, сформулированные в конце предыдущего раздела, позволяют указать следующие особенности изучаемого явления в *p*-Si по сравнению с *n*-Si [3].

1) Изменение температуры и подсветка (малой интенсивности) кремния оказывают противоположное воздействие на комплексообразование в *n*- и *p*-Si: если нагрев образцов *p*-Si и УФ подсветка *n*-Si стимулируют дефектообразование, то подсветка *p*-Si и разогрев *n*-Si подавляют его. Кроме того, в отличие от *n*-Si повышение температуры *p*-Si приводит к смене доминирующего по

амплитуде пика на спектрах DLTS, т.е. в *p*-Si с одинаковым содержанием первичных радиационных дефектов эффективность образования их различных комплексов определяется температурой.

2) Эффективность воздействия фотовозбуждения кремния на образование комплексов дефектов повышается с ростом температуры *n*-Si и падает при нагреве *p*-Si.

3) Зависимость концентрации всех комплексов радиационных дефектов от интенсивности УФ подсветки в диапазоне плотностей мощности света от 0 до 25 мВт/см² имеет монотонный характер с выходом на насыщение в *n*-Si, а в *p*-Si носит немонотонный характер со спадом при малых интенсивностях света и восходящим участком по мере роста плотности мощности подсветки.

Работа выполнена при частичной поддержке программы "Физика твердотельных наноструктур" (проект № 97-1062).

Список литературы

- [1] Ю.Н. Ерохин, А.Г. Итальянцев, В.Н. Мордкович. Письма ЖТФ, **14**, 835 (1988).
- [2] A.B. Danilin, Yu.N. Erokhin, V.N. Mordkovich, N. Hatzopoulos, P.L.F. Hemment. Nucl. Instr. Meth. B, **69**, 268 (1992).
- [3] М.Ю. Барабаненков, А.В. Леонов, В.Н. Мордкович, Н.М. Омеляновская. ФТП, **32**(5), 523 (1998).
- [4] L.C. Kimerling, J.L. Benton. Physica, **116B**, 297 (1983); A. Kaniava, A.L.P. Rotondaro, J. Vanhellefont, U. Mencezgar, E. Gaubas. Appl. Phys. Lett., **67**, 3930 (1995).
- [5] F.P. Anre, P.M. Mooney. J. Appl. Phys., **55**, 984 (1983).
- [6] R.L. Wang, Y.S. Lin, G.E. Possin, J. Cerins, J. Corbett. J. Appl. Phys., **54**, 3839 (1983).

Редактор Л.В. Шаронова

Peculiarities of the radiation defect formation under photon assisted low dose ion implantation of *p*-Si

M.Yu. Barabanenkov, A.V. Leonov, V.N. Mordkovich, N.M. Omelyanovskaya

Institute of Microelectronics Technology and High Purity Materials, Russian Academy of Sciences, 142432 Chernogolovka, Russia

Abstract The influence of crystal temperature and *in situ* photoexcitation of *p*-type Si on the radiation defect formation at low dose ion implantation is studied. Samples of *p*-Si were implanted at the temperatures of 300 and 600 K by accelerated to 150 keV Ar⁺ ions with the dose of $7 \cdot 10^{10}$ cm⁻². Photoexcitation of *p*-Si with different power densities of light radiation was carried out by using a high pressure mercury lamp. It is shown that the higher total concentration of defect complexes corresponds to the higher *p*-Si temperature. Besides, the increase of the temperature from 300 to 600 K changes the dominant type of the defects. The defect formation is suppressed by the photoexcitation of *p*-Si throughout ion implantation. The influence of the light on the defect formation is determined by the target temperature. A nonmonotonic dependence is obtained of secondary defect concentration on the light intensity. Peculiarities of defect clusters in *p*- and *n*-Si subjected to the low dose photon assisted ion implantation are discussed.