

DLTS-СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЕВЫХ p^+n -ДИОДОВ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ ВИСМУТА С ЭНЕРГИЕЙ 700 МэВ И ФЛЮЕНСОМ $5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$

Ю. А. Красицкая

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших параметров, характеризующий диод, является время восстановления обратного сопротивления, определяющее его быстроедействие [1, 2]. При облучении γ -квантами и легкими частицами высоких энергий (электроны, протоны) полупроводниковых материалов в их запрещенной зоне появляются глубокие энергетические уровни радиационных дефектов, что приводит к повышению скорости рекомбинации неравновесных носителей заряда и, соответственно, к уменьшению времени восстановления обратного сопротивления [1–3]. Дальнейшее развитие радиационных технологий может быть связано с использованием высокоэнергетической имплантации тяжелых ионов. Однако, состав радиационных дефектов, вводимых при облучении электронами и протонами, может отличаться от состава дефектов, вводимых при облучении тяжелыми ионами [2–4]. В связи этим интерес представляет изучение радиационных дефектов, сформированных при облучении высокоэнергетическими тяжелыми ионами, и влияния данных дефектов на параметры полупроводниковых приборов.

Целью работы было определение состав радиационных дефектов в кремниевых диодах, облученных высокоэнергетическими ионами висмута.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовались диоды, изготовленные на однородно легированном фосфором кремнии, выращенном методом безтигельной зонной плавки, с удельным сопротивлением 90 Ом·см. Область p^+ -типа создавалась ионной имплантацией бора с энергией 60 кэВ и дозой $5,6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ с последующим отжигом дефектов и разгонкой примеси в окислительной атмосфере. Диоды облучались ионами висмута с энергией 700 МэВ с флюенсом $5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$. Изохронный отжиг облученных диодов выполнялся в течении 30 мин при температурах 250 °С, 300 °С и 350 °С.

Регистрация DLTS-спектров проводилась в интервале температур 80–300 К, на частоте 1 МГц с помощью спектрометра СЕ-6 (НПООО “ОМНИТЕЛ”, г. Минск). Напряжение эмиссии составляло $U_e = 0 \text{ В}$, а заполнения ловушек – $U_p = 10 \text{ В}$. Измерение модуля импеданса и угла

сдвига фаз между колебаниями тока и напряжения выполнялось на приборе Agilent E4980A в интервале частот $20-2 \cdot 10^6$ Гц при комнатной температуре. Амплитуда напряжения не превышала 40 мВ. Зависимости обратного тока I_r от напряжения U_r измерялись в режиме генератора напряжения на программно-аналитическом комплексе HP 4156B при комнатной температуре.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перед облучением диодов высокоэнергетическими тяжелыми ионами, на DLTS-спектре наблюдались два пика E4 ($E_c - 0,29 \pm 0,02$ эВ) и E5 ($E_c - 0,37 \pm 0,02$ эВ), которые не исчезли после термического отжига длительностью 1 час при температуре 425 °С, и могут быть связаны с дефектами упаковки либо тернонодорами.

На рисунке 1 представлен DLTS-спектр облученного ионами висмута и не отжигавшегося диода, на котором присутствуют пять пиков. Положения энергетических уровней в запрещенной зоне рассчитывалось по зависимостям Аррениуса. Получены следующие значения: для дефектов, соответствующих пику E1, $- E = E_c - 0,20 \pm 0,02$ эВ; E2 $- E = E_c - 0,25 \pm 0,02$ эВ; E3 $- E = E_c - 0,38 \pm 0,02$ эВ; E6 $- E = E_c - 0,39 \pm 0,02$ эВ, E7 $- E = E_c - 0,20 \pm 0,02$ эВ. Рассчитанное положение энергетического уровня в запрещенной зоне, дефекта, соответствующего пику E5 совпадало с результатами расчетов для необлученного диода. Сопоставление с известными литературными данными [2–4] позволяет предположить, что пику E1 соответствуют А-центры, пику E2 – дивакансии в дважды отрицательно заряженном состоянии. Пик E3 может представлять собой суперпозицию сигналов DLTS от отрицательно заряженных дивакансии и E-центров [2–4]. Отличие в определенном положении энергетических уровней может быть вызвано как присутствием неразрешенных пиков от центров иной природы (но с близкими энергиями ионизации), так и взаимодействием дефектов друг с другом вследствие их высокой концентрации. Дополнительным источником погрешности может быть также неравномерность распределения радиационных дефектов по глубине.

Известно, что дивакансии, преобладающие в исследуемом диоде, отжигаются практически полностью отжигаются в интервале температур 250–350 °С [3, 4]. Поэтому для исследования были выбраны температуры термического отжига, соответствующие данному интервалу. Как видно из DLTS-спектра (Рис. 1) отжиг при 250 °С в течении 30 минут привел к значительному уменьшению амплитуды пика E3 и исчезновению пика

Е6. Отжиг при 300 °С привел к значительному уменьшению пика Е2 и появлению пика $E6^* - E = E_c - 0,33 \pm 0,02$ эВ. Незначительное отличие в рассчитанной глубине залегания энергетического уровня для дефектов, соответствующих пику $E6^*$, позволяет предположить, что за пики $E6^*$ и Е6 ответственны одни и те же центры, в роли которых могут выступать многовакансионные комплексы. Отжиг при 350 °С привел к значительному уменьшению амплитуды пика Е2 и полному исчезновению пика Е3. Рассчитанная глубина залегания энергетического уровня, соответствующего появившемуся пику Е7 составила $E = E_c - 0,20 \pm 0,08$ эВ. На спектре также отчетливо прослеживается пик Е4, характерный для исходного диода. Следует отметить, что к наблюдаемым изменениям амплитуд пиков на спектрах DLTS следует относиться с осторожностью, т.к. на величину сигнала DLTS влияет компенсация легирующих примесей радиационными дефектами.

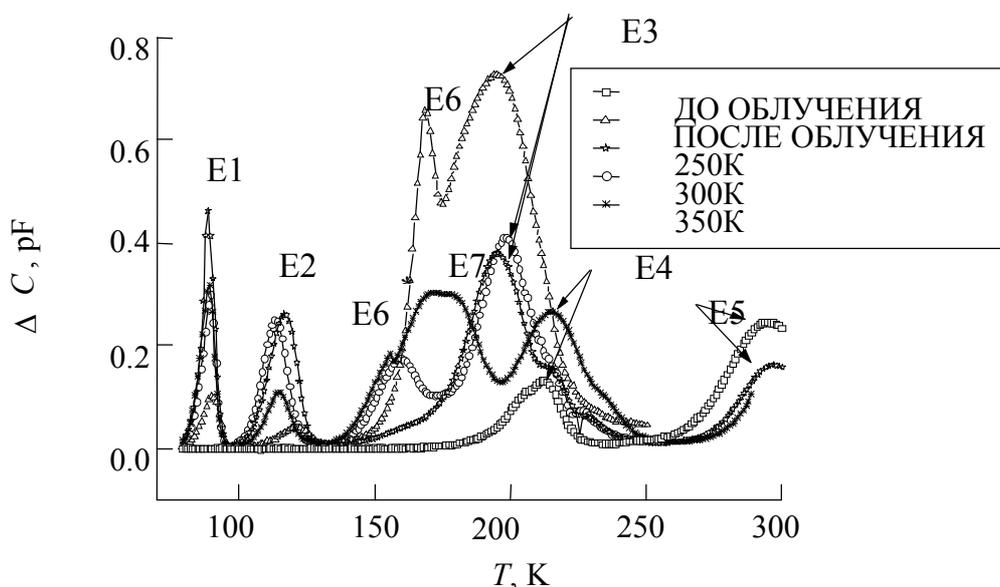


Рис. 1. DLTS-спектр исследуемых диодов

На рисунке 2 представлены обратные вольтамперные характеристики (ВАХ) исследованных диодов. Видно, что термический отжиг при температурах 250 °С приводит к существенному (с 0,36 мкА до 0,087 мкА при $U_r = 100$ В) уменьшению обратных токов, обусловленных генерацией носителей заряда. Известно, что основным радиационным дефектом, определяющим величину обратных токов в облученных диодах является дивакансия [2]. Сопоставление данных, показанных на рис. 2 и рис. 1 позволяет считать, что основной вклад в формирование пика Е3 на спектрах DLTS не отожженных диодов вносит дивакансия, а не E -центр.

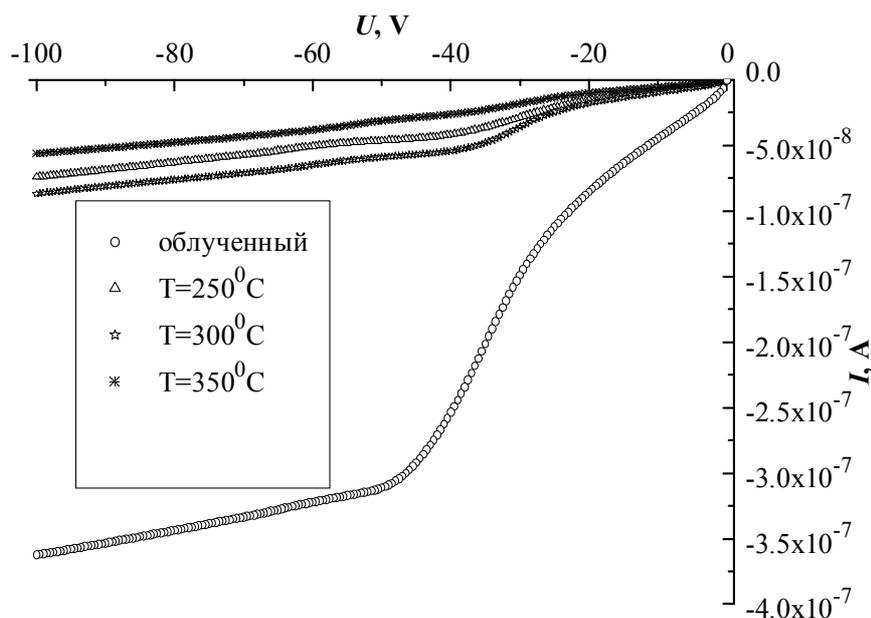


Рис.2. Обратные ветви ВАХ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что основными радиационными дефектами, вводимыми в кремний при облучении ионами висмута с энергией 700 МэВ являются дивакансии и А-центры. Кроме того, возможно образование сложных многовакансионных (вероятно кислородсодержащих) комплексов. Определение состава которых требует проведения дополнительных исследований.

Литература

1. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. СПб., «Лань», 2009.
2. Козлов В. А., Козловский В. В. Легирование полупроводников радиационными дефектами при облучении протонами и α -частицами // Физика и техника полупроводников, 2001. Том 35. Вып. 7.
3. Келли Б. Радиационные повреждения твердых тел / Пер. с англ. О. Л. Щипакина; Под редакцией д-ра физ.-мат. наук Ю. А. Осипьяна. М., 1970.
4. Конозенко И. Д., Семенюк А. К., Хирвич В. И. Радиационные эффекты в кремнии. Киев, «Наукова думка», 1974.

УСТРОЙСТВО ВЫБОРКИ И ХРАНЕНИЯ ДЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО КОНВЕЙЕРНОГО АЦП

А. П. Петюк

Устройства выборки и хранения (УВХ) являются устройствами предназначенными для хранения сигнала в течение времени, необходимого