

06

Влияние γ -облучения на электрофизические характеристики пассивирующих покрытий на основе свинцово-боросиликатных стекол

© П.Б. Парчинский

Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека, Ташкент
E-mail: pavelphys@mail.ru

Поступило в Редакцию 19 июня 2002 г.

Исследовано влияние γ -облучения в диапазоне доз $10^4 \div 2 \cdot 10^7$ rad на электрофизические характеристики пассивирующих покрытий на основе легкоплавких свинцово-боросиликатных стекол. Показано, что γ -облучение ведет к накоплению положительного заряда в объеме пассивирующих покрытий. Установлено, что при дозах облучения, больших чем $5 \cdot 10^6$ rad, наблюдается эффект насыщения радиационно-индуцированного заряда в объеме стекла.

Легкоплавкие свинцово-боросиликатные стекла широко применяются в полупроводниковой микроэлектронике для создания пассивирующих и герметизирующих покрытий [1,2]. Это обуславливает интерес к изучению влияния внешних воздействий, и в частности радиационных воздействий на их электрофизические характеристики. Одним из основных параметров, определяющих степень влияния радиационных воздействий на характеристики пассивирующих покрытий, является величина эффективной плотности радиационно-индуцированного заряда на единицу площади границы раздела полупроводник-диэлектрик- Q_S [3]. В данной работе приводятся результаты исследований влияния γ -облучения на величину Q_S , полученные при помощи метода высоковольтных вольт-фарадных (C-V) характеристик.

Исследуемые покрытия наносились на подложку n-Si с кристаллографической ориентацией (111) из суспензии, содержащей мелкодисперсную шихту стекла и изопропиловый спирт, при помощи электрофореза, с последующим оплавлением при температуре 700°C . Время оплавления составляло $5 \div 10$ min. Состав стекла и его электрофизические характеристики аналогичны описанным в [4]. Для ре-

лизации метода высокочастотных $C-V$ зависимостей путем вакуумного напыления управляющего электрода площадью 0.01 cm^2 на поверхность стекла и омического контакта на кремниевую подложку создавались тестовые МДП (металл–диэлектрик–полупроводник) структуры. Материалом, используемым для создания омического контакта и управляющего электрода, служил алюминий. Толщина полученных пассивирующих покрытий, определенная по максимальному значению емкости исследуемых МДП-структур, составляла $(3 \pm 0.3) \cdot 10^{-4} \text{ cm}$. Измерение $C-V$ зависимостей проводилось в темноте, при температуре 23°C , на частоте 150 KHz . Облучение исследуемых структур γ -квантами проводилось от источника ^{60}Co , без смещения на полевом электроде.

На рис. 1 представлены типичные высокочастотные $C-V$ зависимости, полученные для одной из исследованных структур до облучения и после ее облучения γ -квантами в диапазоне доз от 10^4 до $2 \cdot 10^7 \text{ rad}$ (на рисунке с целью его упрощения не приведены $C-V$ кривые, полученные после облучения исследуемых структур дозой 10^7 rad). Значения емкости нормированы к максимальному значению $C_0 = 22 \text{ pF}$. Из представленных зависимостей видно, что γ -облучение приводит к сдвигу $C-V$ характеристик в сторону отрицательных напряжений, что свидетельствует о возникновении в стекле положительного заряда Q_S , величина которого увеличивается с увеличением дозы облучения. Одновременно наблюдается и изменение наклона $C-V$ зависимостей после облучения, что свидетельствует об увеличении значений плотности поверхностных состояний на границе раздела Si–стекло [3]. Наблюдаемое при дозах, больших чем 10^6 rad , некоторое уменьшение значений минимальной емкости исследуемых МДП-структур может быть объяснено частичной компенсацией полупроводниковой подложки в процессе радиационного дефектообразования [5]. Так, значения эффективной концентрации носителей заряда в исследуемых структурах, определенные согласно [6], составили $n_0 = 1.2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ в необлученных структурах и $n_0 = 1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ в структурах, облученных дозой $2 \cdot 10^7 \text{ rad}$.

Величину заряда Q_S и степень его влияния на характеристики приповерхностной области кремния удобно характеризовать величиной напряжения плоских зон (V_{FB}), где значения V_{FB} определяются как

$$V_{FB} = Q_{SF}/C_0, \quad (1)$$

Q_{SF} — величина эффективного поверхностного заряда при напряжении плоских зон, C_0 — емкость диэлектрика [3].

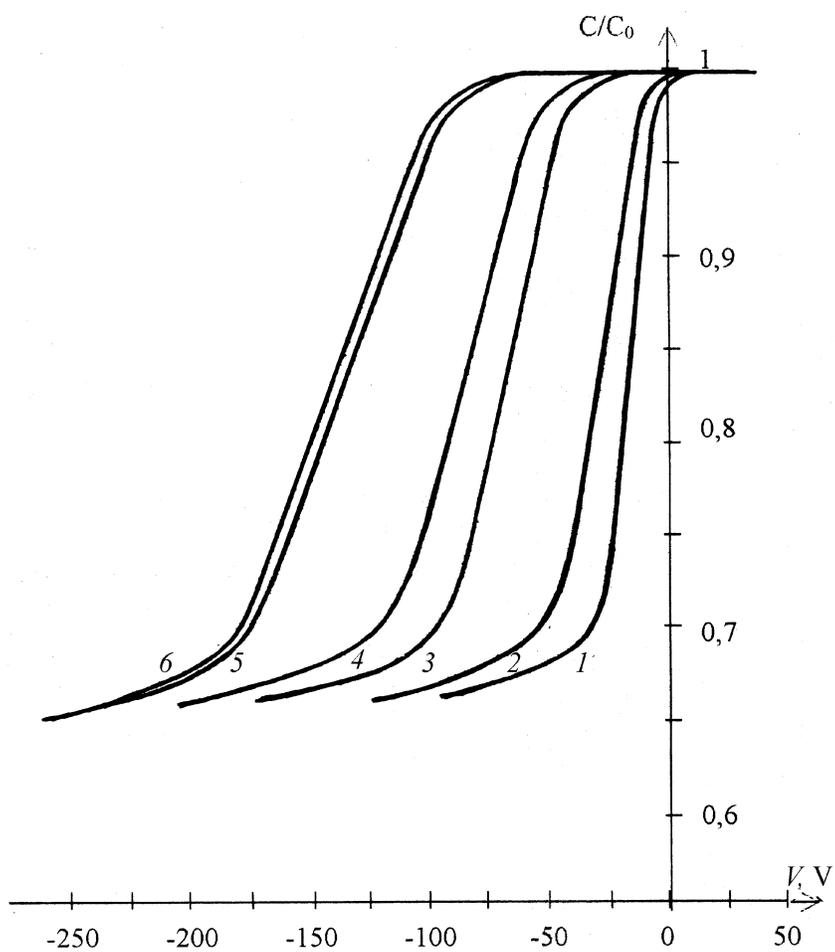


Рис. 1. Высокочастотные вольт-фарадные зависимости исследованных МДП-структур: 1 — до облучения и после облучения дозой 10^4 rad; 2 — 10^5 rad; 3 — $5 \cdot 10^5$ rad; 4 — 10^6 rad; 5 — $5 \cdot 10^6$ rad; 6 — $2 \cdot 10^7$ rad.

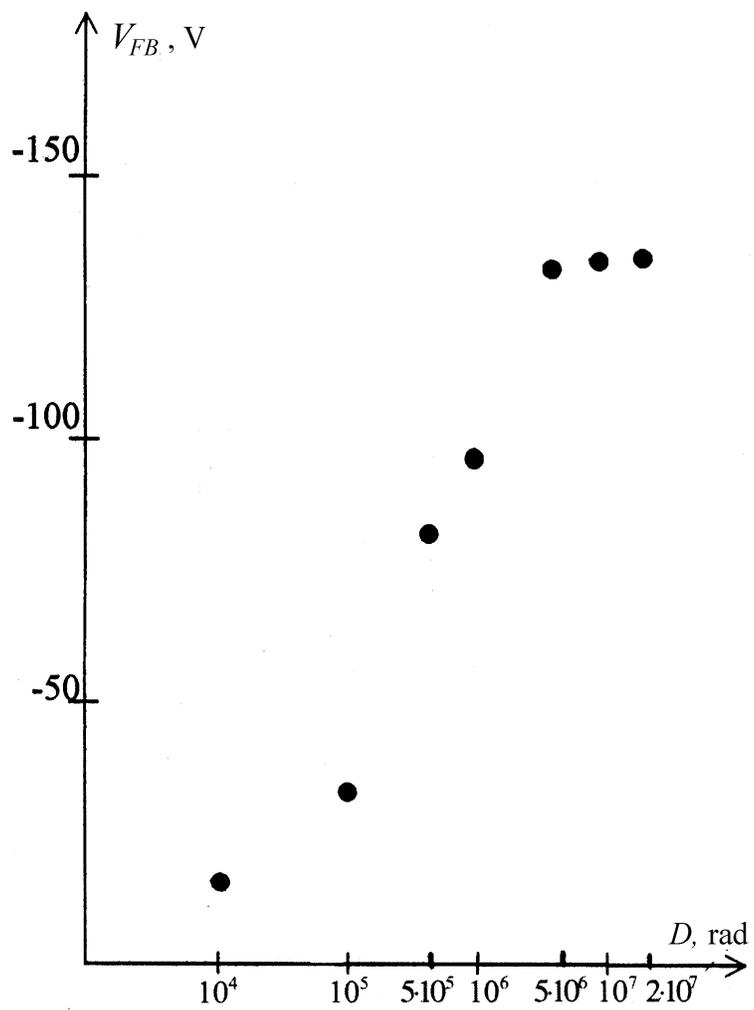


Рис. 2. Зависимость напряжения плоских зон исследованных структур от дозы γ -облучения.

На рис. 2 приведена дозовая зависимость величины V_{FB} , полученная путем сравнения приведенных на рис. 1 экспериментальных C–V характеристик с теоретическими, рассчитанными согласно [3]. Изменение значений напряжения плоских зон от $V_{FB} = -14$ В в необлученных структурах до $V_{FB} = -132$ В в структурах, облученных γ -квантами дозой $2 \cdot 10^7$ rad, свидетельствует о возникновении в объеме стекла положительного заряда величиной $Q_{SF} = 2.5 \cdot 10^{-7}$ C/cm².

В то же время отметим, что облучение дозой 10^4 rad практически не ведет к сдвигу C–V зависимостей и изменению значений V_{FB} и, следовательно, к возникновению заряда Q_S в объеме стекла. Это свидетельствует о большей радиационной стойкости пассивирующих покрытий на основе исследуемых стекол по сравнению с широко распространенными покрытиями на основе диоксида кремния, полученного термическим окислением поверхности Si, заметное накопление заряда в котором наблюдается уже при дозах 10^4 rad [5,7]. Отметим также, что при облучении исследованных структур дозами, большими чем $5 \cdot 10^6$ rad, сдвиг C–V зависимостей по оси напряжений уменьшается, а изменение значений V_{FB} практически прекращается. Это свидетельствует о насыщении величины заряда Q_S в объеме пассивирующих покрытий.

Возникновение заряда Q_S в объеме исследуемого стекла под влиянием γ -облучения можно объяснить возникновением „пространственно разделенных“ электронно-дырочных пар. При этом избежавшие рекомбинации электроны могут покинуть диэлектрик, а менее подвижные дырки захватываются ловушечными центрами в объеме стекла [7]. Такими центрами в исследуемых стеклах могут являться атомы немостикового кислорода [8] и ионы трехвалентного кремния [7,8]. Увеличение заряда, захваченного в стекле, приводит к возникновению электрического поля, препятствующего пространственному разделению электронно-дырочных пар, что увеличивает вероятность их рекомбинации [6]. Кроме того, наличие положительного заряда в диэлектрике приводит к возникновению обогащенного электронами слоя в приповерхностной области Si, что обуславливает возможность инжекции электронов из обогащенного слоя в объем стекла [4] (инжекция электронов в объем свинцово-боросиликатных стекол из обогащенного слоя у границы раздела Si–стекло наблюдалась в [9]). Вышеуказанные факторы ведут к стабилизации величины Q_S , несмотря на дальнейшее увеличение дозы облучения.

Более высокую радиационную стойкость пассивирующих покрытий на основе исследованных стекол по сравнению с покрытиями на основе диоксида кремния, получаемого термическим окислением, можно объяснить наличием в них наряду с центрами захвата дырок центрами захвата электронов. Такими центрами могут служить положительно заряженные ионы свинца Pb^{2+} [8]. Их наличие может приводить к тому, что при малых дозах облучения будет происходить частичная компенсация заряда захваченных на ловушках дырок зарядом захваченных электронов, что и приводит к уменьшению наблюдаемой величины Q_S в объеме пассивирующих покрытий на основе свинцово-боросиликатных стекол.

Список литературы

- [1] *Flowers P.L.* // J. Electrochem. Soc. 1881. V. 128. N 10. P. 2179–2183.
- [2] *Shimbo M., Furukawa K., Tanzava K.* et al. // Sol. St. Science and Technology. 1987. V. 134. N 1. P. 156–160.
- [3] *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. Т. 1. М.: Мир, 1984. 456 с. (Пер. с англ. S.M. Sze. Physics of Semiconductors Devices. New York: John Wiley & Sons, 1981).
- [4] *Власов С.И., Парчинский П.Б., Олматов Б.А.* // Неорганические материалы. 2000. Т. 36. № 5. С. 608–610.
- [5] *Вавилов В.С., Горин Б.М., Данилин Н.С., Кив А.Е., Нуров Ю.А., Шаховцев В.И.* Радиационные методы в твердотельной электронике. М.: Радио и связь, 1990. 184 с.
- [6] *Zaineger K.H., Heiman F.P.* // Sol. St. Tech. 1970. V. 13. P. 49–56.
- [7] *Периенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В.* Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. М.: Энергоатомиздат, 1998. 256 с.
- [8] *Щапова Ю.В., Зацепин А.Ф.* // Изв. АН СССР. Сер. Физ. 1988. Т. 52. С. 1614–1618.
- [9] *Власов С.И., Парчинский П.Б., Насиров А.А.* и др. // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 8. С. 141–142.