

05;06;08;12

## Влияние ультразвука на параметры структур металл–диэлектрик–полупроводник

© П.Б. Парчинский, С.И. Власов, Р.А. Муминов,  
Х.Х. Исмаилов, У.Т. Тургунов

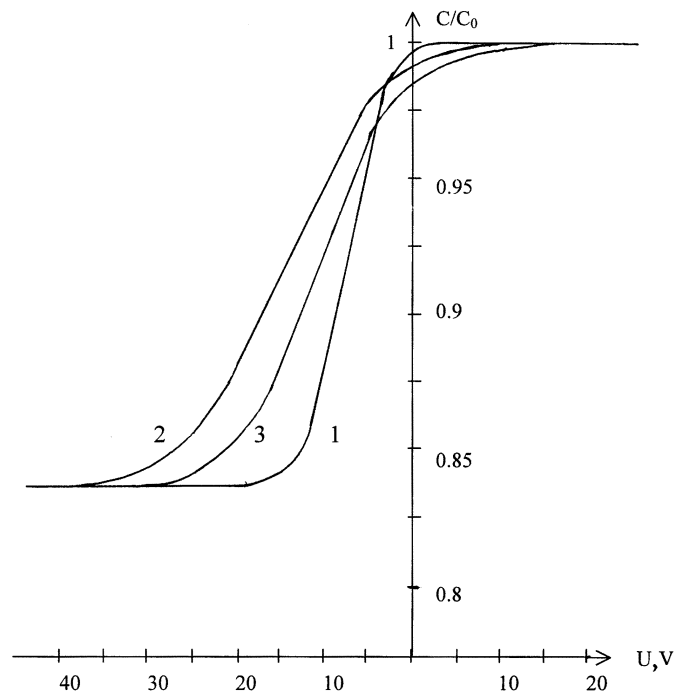
Ташкентский государственный университет им. М. Улугбека, Узбекистан  
Физико-технический институт им. Стародубцева АН Узбекистана,  
Ташкент

Поступило в Редакцию 7 декабря 1999 г.

Приводятся результаты исследования влияния ультразвукового (УЗ) воздействия на структуры типа металл–окисел–полупроводник (МОП-структуры), предварительно облученные  $\gamma$ -квантами. Показано, что УЗ воздействие ведет к уменьшению радиационно-индуцированного заряда в диэлектрике исследуемых структур. Рассмотрен механизм УЗ стимулированной диффузии радиационных дефектов в поле упругих напряжений в слое диоксида кремния, приводящий к наблюдаемым эффектам.

Известно, что воздействие радиации на полупроводниковые приборы приводит к образованию в их объеме различного рода структурных дефектов и к деградации их электрофизических характеристик [1]. Обнаруженное в последнее время позитивное влияние ультразвуковой (УЗ) обработки на дефектную структуру полупроводниковых материалов [2,3] вызывает интерес к исследованию влияния УЗ воздействий на полупроводниковые приборы и структуры, подвергавшиеся воздействию ионизирующего излучения. В данной работе приводятся результаты исследования влияния УЗ обработки на предварительно облученные  $\gamma$ -квантами структуры типа металл–окисел–полупроводник (МОП-структуры).

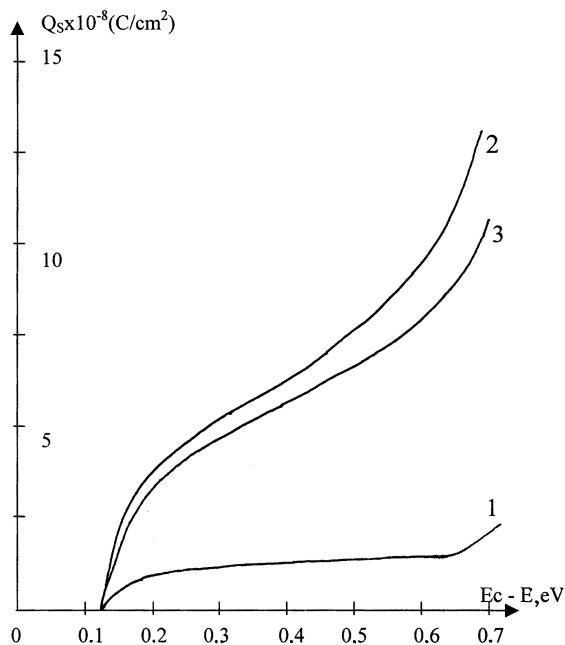
Исследуемые структуры изготавливались при помощи термического окисления кремния с удельным сопротивлением  $\rho_0 = 0.2 \div 0.5 \Omega \cdot \text{cm}$  и кристаллографической ориентацией  $\langle 100 \rangle$ . Окисление проводилось в атмосфере сухого кислорода, при  $T = 900^\circ\text{C}$  в течение одного часа, с последующим медленным ( $10^\circ\text{C/min}$ ) охлаждением. Управляющий



**Рис. 1.** Экспериментальные вольт-фарадные (C-V) зависимости исследуемых МОП-структур: 1 — исходные структуры, 2 — после облучения  $\gamma$ -квантами, 3 — после воздействия ультразвука на облученные структуры.

электрод площадью  $S = 4 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$  и омический контакт формировались путем вакуумного напыления алюминия. Изготовленные структуры подвергались облучению  $\gamma$ -квантами дозой  $10^6 \text{ rad}$  от источника  $\text{Co}^{60}$  с последующим воздействием УЗ и частотой  $1 \text{ MHz}$  и мощностью  $1 \text{ W/cm}^2$  в течение  $30 \text{ min}$ .

Считается установленным, что при дозах облучения до  $10^7 \text{ rad}$  наиболее существенное влияние на характеристики МОП-структур оказывают процессы накопления заряда в диэлектрике и увеличение плотности поверхностных состояний (ПС) на границе раздела  $\text{Si-SiO}_2$  [4]. Для определения величины заряда в диэлектрике и заряда ПС в исследуе-



**Рис. 2.** Распределение величины интегрального заряда поверхностных состояний по запрещенной зоне кремния в исследуемых МОП-структурах: 1 — исходные структуры, 2 — после облучения  $\gamma$ -квантами, 3 — после воздействия ультразвука на облученные структуры.

мых структурах использовался метод высокочастотных вольт-фарадных (C–V)-характеристик [5]. На рис. 1 приведены экспериментальные C–V зависимости исследованных структур. Из приведенных зависимостей видно, что УЗ-воздействие приводит к сдвигу C–V зависимостей облученных структур по оси напряжений по направлению к характеристикам исходных структур и к изменению их наклона. Согласно [5,6], это свидетельствует об уменьшении как величины заряда, встроенного в диэлектрике, так и величины заряда ПС. На рис. 2 показано изменение интегрального заряда ПС ( $Q_s$ ) по ширине запрещенной зоны Si ( $E_c - E$ ) в исследуемых структурах. Из приведенных зависимостей

видно, что в облученных структурах после УЗ-обработки наблюдается уменьшение величины  $Q_s$ , достигающее при значениях  $E_c - E = 0.7 \text{ eV}$   $1.5 \div 2 \cdot 10^{-8} \text{ C/cm}^2$ . В то же время величина эффективного заряда, встроенного в диэлектрике  $Q_{ef}$ , определяемая по сдвигу  $C-V$  зависимостей в том же энергетическом интервале [5,7], после УЗ-воздействия уменьшается на  $3.5 \div 4 \cdot 10^{-8} \text{ C/cm}^2$ .

Известно, что в процессе измерения  $C-V$  зависимостей в диэлектрике возникают электрические поля большой напряженности. Так, для исследуемых структур напряженность поля в диэлектрике составляла  $E_d = 10^5 \text{ V/cm}$ . Наличие таких полей может стимулировать процессы самоотжига радиационных дефектов и релаксации радиационно-индуцированного заряда в диэлектрике [8]. Однако контрольные измерения облученных структур, не подвергавшихся воздействию УЗ, показали отсутствие заметных изменений величин  $Q_{ef}$  и  $Q_s$ . Из этого следует, что наблюдаемые изменения не являются следствием самоотжига радиационных дефектов в процессе измерений, а обусловлены УЗ-воздействием. В то же время было установлено, что УЗ-обработка исходных (необлученных) МОП-структур не приводит к изменению вида  $C-V$  зависимостей и не сказывается в дальнейшем на процессе накопления радиационно-индуцированного заряда в диэлектрике. Это свидетельствует о том, что энергия УЗ-колебаний, передаваемых изучаемым структурам, меньше пороговой энергии дефектообразования в  $\text{SiO}_2$  и в переходном слое у границы раздела  $\text{Si-SiO}_2$ .

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Известно, что при облучении  $\gamma$ -квантами дефектообразование на границе раздела  $\text{Si-SiO}_2$  и в объеме диоксида кремния обусловлено в основном ионизационными эффектами [9]. При этом, с одной стороны, образуются новые дефекты, обладающие зарядом, а с другой — заряжаются имеющиеся до облучения ловушечные центры. Радиационные дефекты в  $\text{SiO}_2$  могут быть как стабильными, положения которых в структуре стекла характеризуются абсолютным минимумом свободной энергии, так и нестабильными, находящимися в положении, характеризуемом локальным минимумом свободной энергии [9]. Известно, что в переходном слое у границы раздела  $\text{Si-SiO}_2$  наблюдаются внутренние напряжения сжатия, величина которых уменьшается в объеме диэлектрика [4,8]. УЗ-воздействие может стимулировать процесс диффузии нестабильных дефектов в структуре стекла с их последующей локализацией в положении с абсолютным минимумом свободной энергии [10]. При

наличии градиента внутренних напряжений диффузия дефектов будет происходить по направлению от границы раздела в глубь диэлектрика. Величина  $Q_{ef}$ , приводящая к смещению C–V зависимостей по оси напряжений, определяется формулой

$$Q_{ef} = d^{-1} \times \int_0^d (\rho(x) \times x) dx, \quad (1)$$

где  $d$  — толщина диэлектрика,  $\rho(x)$  — функция распределения пространственного заряда в диэлектрике,  $x = 0$  на границе раздела металл–SiO<sub>2</sub> [7]. Удаление заряженных дефектов от границы раздела приводит к сдвигу максимума  $\rho(x)$  в глубь диэлектрика и уменьшению величины  $Q_{ef}$ . Кроме того, удаление части дефектов от границы раздела делает невозможным их перезарядку электронами из объема Si, что ведет к наблюдаемому уменьшению величины  $Q_s$ . Отметим также, что при дрейфе дефектов возможны процессы их аннигиляции на внутренних стоках и перестройки их энергетических уровней [8], которые могут сопровождаться освобождением локализованного на них заряда, что также приводит к уменьшению величины  $Q_{ef}$ .

Таким образом, наблюдаемое после УЗ-обработки уменьшение радиационно-индуцированного заряда в диэлектриках исследуемых МОП-структур может быть обусловлено процессами УЗ-стимулированной диффузии нестабильных радиационных дефектов в поле упругих напряжений в структуре SiO<sub>2</sub>. Происходящие при этом процессы ведут к частичному восстановлению электрофизических параметров МОП-структур, облученных  $\gamma$ -квантами.

## Список литературы

- [1] Коршунов Ф.П., Богатырев Ю.В., Вавилов В.А. Воздействие радиации на интегральные микросхемы. Минск: Наука и техника, 1986. 254 с.
- [2] Брайловский Е.Ю., Здебский А.П., Корчная В.Л. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 21. С. 1310–1313.
- [3] Здебский А.П., Корчная В.Л., Тарчинская Т.В. и др. Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 2. С. 76–81.
- [4] Вавилов В.С., Горин 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.

- [5] *Zu C.* 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).
- [6] *Terman L.M.* // Sol. Stat. Elektron. 1962. N 5. P. 803–831.
- [7] *Чистов Ю.В., Сынов В.Ф.* Физика МДП структур. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 224 с.
- [8] *Периенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В.* Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. М.: Энергоатомиздат, 1998. 256 с.
- [9] *Агаханян Т.М., Аствацатурьян Е.Р., Скоробогатов П.К.* Радиационные эффекты в интегральных микросхемах. М.: Энергоатомиздат, 1989. 256 с.
- [10] *Баранский П.И., Беляев А.Е., Коширенко С.М.* и др. ФТТ. 1990. Т. 32. № 7. С. 2159–2161.