

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 γ -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 γ -квантами структуры типа металл–окисел–полупроводник (МОП-структуры).

Исследуемые структуры изготавливались при помощи термического окисления кремния с удельным сопротивлением $\rho_0 = 0.2 \div 0.5 \Omega \cdot \text{см}$ 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 ($10^\circ\text{C}/\text{min}$) охлаждением. Управляющий

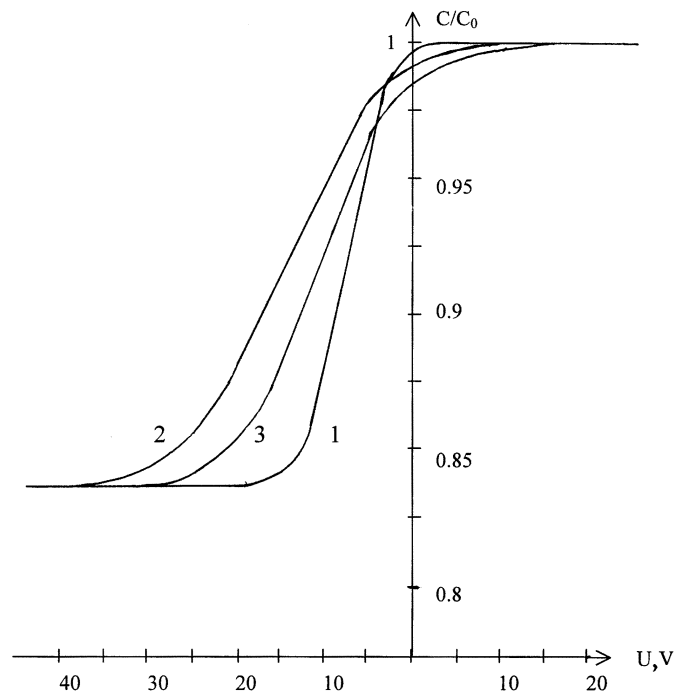


Рис. 1. Экспериментальные вольт-фарадные (C - V) зависимости исследуемых МОП-структур: 1 — исходные структуры, 2 — после облучения γ -квантами, 3 — после воздействия ультразвука на облученные структуры.

электрод площадью $S = 4 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$ и омический контакт формировались путем вакуумного напыления алюминия. Изготовленные структуры подвергались облучению γ -квантами дозой 10^6 rad от источника Co^{60} с последующим воздействием УЗ и частотой **1 MHz** и мощностью **1 W/cm²** в течение **30 min**.

Считается установленным, что при дозах облучения до 10^7 rad наиболее существенное влияние на характеристики МОП-структур оказывают процессы накопления заряда в диэлектрике и увеличение плотности поверхностных состояний (ПС) на границе раздела Si-SiO_2 [4]. Для определения величины заряда в диэлектрике и заряда ПС в исследуе-

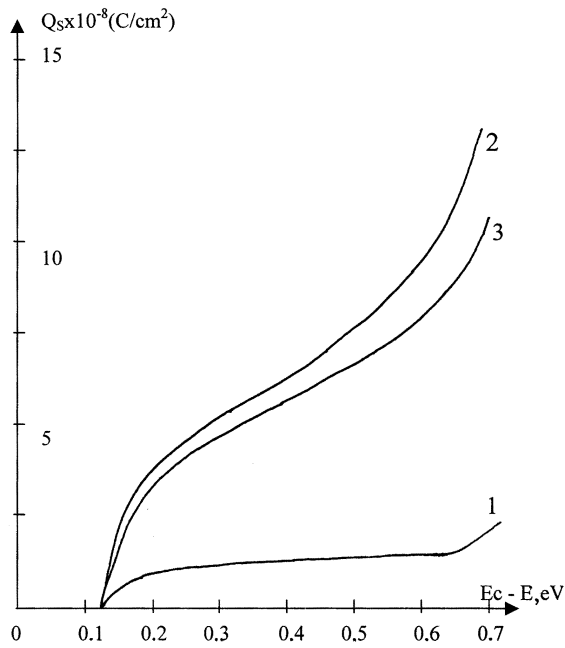


Рис. 2. Распределение величины интегрального заряда поверхностных состояний по запрещенной зоне кремния в исследуемых МОП-структурах: 1 — исходные структуры, 2 — после облучения γ -квантами, 3 — после воздействия ультразвука на облученные структуры.

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 SiO_2 и в переходном слое у границы раздела Si-SiO_2 .

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Известно, что при облучении γ -квантами дефектообразование на границе раздела 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 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 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_2 [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_2 . Происходящие при этом процессы ведут к частичному восстановлению электрофизических параметров МОП-структур, облученных γ -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.