

06;08

Влияние ультразвукового воздействия на генерационные характеристики границы раздела кремний–диоксид кремния

© П.Б. Парчинский, С.И. Власов, Л.Г. Лигай, О.Ю. Щукина

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

Поступило в Редакцию 8 января 2003 г.

Исследовано влияние ультразвукового воздействия на генерационные характеристики границы раздела кремний–диоксид кремния, полученной при термическом окислении поверхности кремния. Показано, что ультразвуковое воздействие приводит к уменьшению скорости поверхностной генерации и увеличению генерационного времени жизни неосновных носителей заряда. Обнаруженные эффекты связаны с перестройкой дефектной структуры переходного слоя на границе раздела Si–SiO₂ и прилегающей к ней области Si.

В настоящее время считается установленным, что ультразвуковое (УЗ) воздействие оказывает влияние на дефектную структуру и электрофизические характеристики полупроводников и полупроводниковых структур [1–4]. При этом эффекты, связанные с УЗ-воздействием, наиболее ярко проявляются в тех областях полупроводниковых структур, в которых наблюдается наличие полей внутренних напряжений [3,4]. Наличие таких полей является фактором, способствующим протеканию процессов перегруппировки, образования и рекомбинации дефектов под влиянием ультразвука. В связи с этим представляет интерес изучение влияния УЗ-воздействия на границу раздела кремний–диоксид кремния (Si–SiO₂), характеризующую наличием сильно напряженного переходного слоя [5].

Нами было исследовано влияние УЗ-воздействия на генерационные характеристики границы раздела Si–SiO₂, сформированной при термическом окислении поверхности кремния *n*-типа с кристаллографической ориентацией $\langle 100 \rangle$ и удельным сопротивлением $0.3 \Omega \cdot \text{см}$. Окисление проводилось в атмосфере сухого кислорода при температуре 1000°C .

Исследование генерационных характеристик границы раздела проводилось при помощи метода изотермической релаксации емкости, позволяющего определить как величину скорости поверхностной генерации S_g , так и генерационное время жизни τ_g в области кремния, прилегающей к границе раздела [6,7].

Для реализации этого метода путем вакуумного напыления алюминия на слой SiO_2 формировались тестовые структуры типа металл–диэлектрик–полупроводник (МДП-структуры). Полученные структуры подвергались воздействию ультразвука с частотой 2.5 MHz и мощностью 0.5 W/cm^2 в течение 45 min. Измерение процесса релаксации неравновесной емкости МДП-структур проводилось на частоте тестового сигнала 150 MHz, в темноте, при температуре 0°C . Состояние неравновесного обеднения создавалось при переключении приложенного к структуре напряжения от -16 до -20 V . При этом структура переводилась из состояния инверсии в состояние более сильной инверсии. Выбор данного режима измерений обусловлен тем, что он позволяет пренебречь вкладом перезарядки поверхностных состояний в процессе релаксации неравновесной емкости МДП-структуры и повысить точность измерений и однозначность интерпретации полученных результатов [8].

На рис. 1 представлены релаксационные зависимости, полученные для одной из исследованных МДП-структур до и после УЗ-обработки. Видно, что УЗ-воздействие ведет к увеличению времени релаксации неравновесной емкости МДП-структуры, что свидетельствует о снижении темпа генерации неосновных носителей заряда. Обработка представленных на рис. 1 зависимостей, согласно [6,7], показала, что уменьшение скорости процесса релаксации обусловлено как уменьшением значений S_g , так и увеличением генерационного времени жизни неосновных носителей заряда. Необходимо отметить, что в исследуемых структурах до УЗ-обработки наблюдается значительный разброс величин S_g (от $S_g = 2.5 \text{ cm/s}$ до $S_g = 14.2 \text{ cm/s}$). В то же время разброс значений τ_g не превышал 20% относительно среднего значения $\tau_g = 0.96 \times 10^{-6} \text{ s}$. Обнаруженный эффект уменьшения значений S_g в результате УЗ-воздействия наблюдается во всех исследуемых структурах, независимо от исходных значений S_g и τ_g . При этом помимо уменьшения скорости поверхностной генерации УЗ-обработка приводит также и к уменьшению разброса значений S_g (от $S_g = 0.5 \text{ cm/s}$ до $S_g = 2.5 \text{ cm/s}$). Значения τ_g в области Si, прилегающей к границе раздела, в результате УЗ-обработки изменяются в значительно меньшей

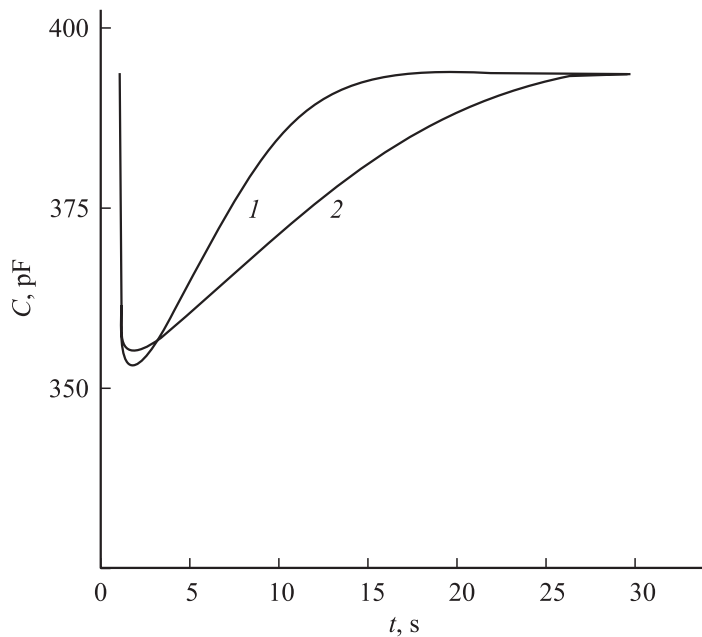


Рис. 1. Зависимости релаксации неравновесной емкости исследованных МДП-структур: 1 — до воздействия ультразвука; 2 — после воздействия ультразвука.

степени. Так, среднее значение τ_g после УЗ-воздействия составило 1.6×10^{-6} s, а разброс значений τ_g не превышал 15%.

Согласно [5,9], величина S_g связана с концентрацией поверхностных генерационных центров (поверхностных состояний). Однако исследования, проведенные при помощи метода высокочастотных вольт-фарадных (С-V) характеристик показали, что УЗ воздействие не ведет к сколько-нибудь заметным изменениям вида С-V зависимостей исследуемых структур (рис. 2), что свидетельствует об отсутствии изменений величины плотности поверхностных состояний (N_{ss}). Более того, было установлено, что в исследованных структурах до УЗ-воздействия, несмотря на значительный разброс значений S_g , значения N_{ss} отличаются не более чем на 20%. При этом не было обнаружено корреляции между величиной плотности поверхностных состояний и значениями S_g .

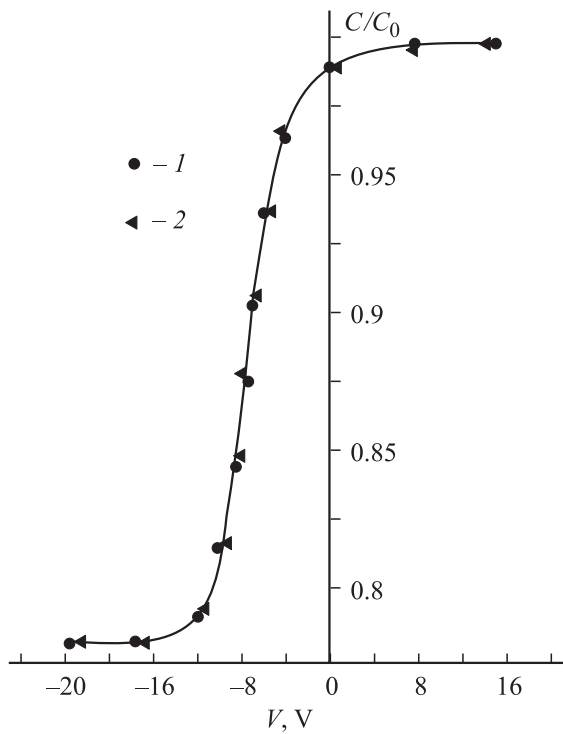


Рис. 2. Высокочастотные вольт-фарадные характеристики исследованных МДП-структур, нормированные к величине емкости диэлектрика C_0 ($C_0 = 524$ pF): 1 — до воздействия ультразвука; 2 — после воздействия ультразвука.

Значительный разброс значений S_g при близких величинах $N_{s,s}$ для МДП-структур, изготовленных в единых технологических циклах, ранее был обнаружен в работах [10,11]. Это, по мнению авторов [12,13], является следствием того, что значения S_g определяются не только величиной $N_{s,s}$, но и наличием локальных пространственных неоднородностей распределения поверхностного заряда на границе раздела Si-SiO₂ и связанных с ними флуктуациями поверхностного потенциала. В этом случае уменьшение значений S_g в результате УЗ-воздействия можно объяснить тем, что оно ведет к перестройке дефектной структуры

напряженного слоя на границе раздела, которая происходит таким образом, что приводит к сглаживанию локальных неоднородностей распределения поверхностного заряда. При этом происходит ликвидация каналов поверхностной генерации, связанных с флуктуациями поверхностного потенциала. В пользу этого свидетельствует тот факт, что УЗ-обработка ведет как к уменьшению величины S_g , так и к уменьшению разброса ее значений. В то же время стимулированная ультразвуком перестройка дефектной структуры практически не приводит к изменению общего числа дефектов в переходном слое и, следовательно, не влияет на величину $N_{s,s}$.

Увеличение значений τ_g в результате УЗ-обработки исследуемых структур свидетельствует о том, что в области Si, прилегающей к границе раздела, также наблюдается перестройка дефектной структуры, приводящая к уменьшению числа генерационных центров. Однако эффекты, связанные влиянием УЗ-воздействия на генерационные характеристики данной области, выражены значительно слабее, что может быть обусловлено отсутствием в ней полей внутренних механических напряжений, облегчающих перестройку и перегруппировку дефектных центров.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что УЗ-воздействие ведет к изменению генерационных характеристик границы раздела Si-SiO₂, сформированной при термическом окислении поверхности Si. Наблюдаемые изменения обусловлены стимулированной ультразвуком перестройкой дефектной структуры границы раздела и прилегающей к ней области кремния. Наличие внутренних механических напряжений является фактором, способствующим протеканию процессов перестройки дефектной структуры, в связи с чем эффекты влияния УЗ-воздействия на границе раздела проявляются более ярко, чем в объеме Si.

Список литературы

- [1] Баранский П.И., Беляев А.Е., Кошценко С.М. и др. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 7. С. 2159–2161.
- [2] Заверюхин Б.Н., Кревчик В.Д., Муминов Р.А. и др. // ФТП. 1986. Т. 20. № 3. С. 525–528.
- [3] Брайловский Е.Ю., Здебский А.П., Корчная В.Л. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. № 21. С.1310–1313.

- [4] *Островский И.В., Стобленко Л.П., Надточий А.Б.* // ФТП. 2000. Т. 34. № 3. С. 257–260.
- [5] *Периенков В.С., Попов В.Д., Шальнов В.Д.* Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. М.: Энергоиздат, 1988. 256 с.
- [6] *Zerbst M.* // Z. Angew. Phys. 1966. V. 22. N 1. P. 3039–3046.
- [7] *Kang J.S., Schroder D.K.* // Phys. St. Sol. (a). 1985. V. 89. N 13. P. 13–14.
- [8] *Берман Л.С., Лебедев А.А.* Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л.: Наука, 1981. 176 с.
- [9] *Литовченко В.Г., Горбань А.П.* Основы физики микроэлектронных систем метал–диэлектрик–полупроводник. Киев: Наук. думка, 1978. 316 с.
- [10] *Schroder P.K., Culdberg J.* // Sol. St. Electron. 1971. V. 14. N 6. P. 1285–1287.
- [11] *Парчинский П.Б., Власов С.И.* // Микроэлектроника. 2001. Т. 30. № 6. С. 466–471.
- [12] *Гольдман Е.И.* // ФТП. 1993. Т. 27. № 2. С. 269–276.
- [13] *Гольдман Е.И., Ждан А.Г.* // ФТП. 1995. Т. 29. № 3. С. 2–428–437.