

02;06

## **Исследование влияния $\gamma$ -облучения на температурную зависимость скорости поверхностной генерации неосновных носителей заряда на границе раздела кремний—диоксид кремния**

© П.Б. Парчинский, Л.Г. Лигай, Х.Ж. Мансуров, Ш.Х. Йулчиев

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

Поступило в Редакцию 5 ноября 2004 г.

Исследовано влияние  $\gamma$ -облучения на генерационные характеристики границы раздела кремний—диоксид кремния. Установлено, что облучение ведет к возникновению температурной зависимости скорости поверхностной генерации. Показано, что данный эффект обусловлен возникновением в диэлектрике ловушечных центров, способных обмениваться носителями заряда с объемом полупроводника, посредством туннельной эмиссии.

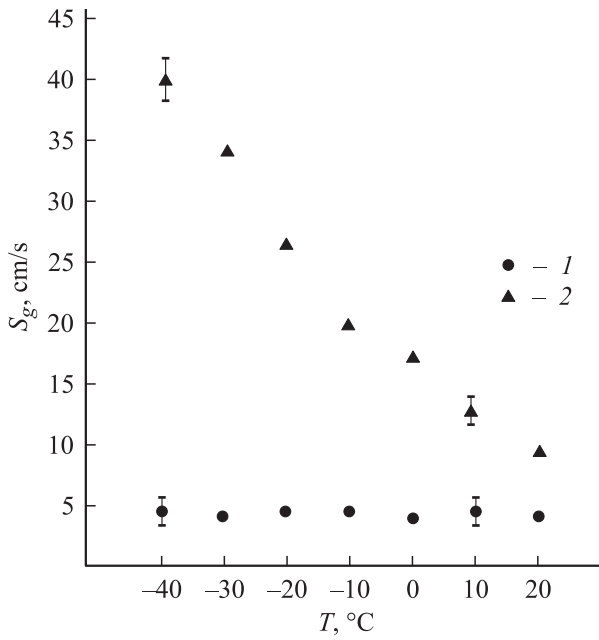
Процесс термического окисления поверхности кремния является одним из основных технологических процессов, используемых в полупроводниковом приборостроении. Возникающая при этом граница раздела кремний—диоксид кремния может оказывать существенное, а в ряде случаев и определяющее влияние на параметры изготавливаемых приборов и структур. Одной из основных характеристик, определяющих качество данной границы раздела, является скорость поверхностной генерации ( $S_g$ ) [1,2]. Для определения величины  $S_g$  обычно используется метод изотермической релаксации емкости структур типа металл—диэлектрик—полупроводник (МДП-структур) [2,3]. Согласно существующим представлениям, лежащим в основе данного метода, величина  $S_g$  не зависит от температуры [1,3]. Однако проведенный в [4] анализ показал, что наличие в диэлектрике ловушечных центров, способных обмениваться носителями заряда с объемом полупроводника посредством туннельной и туннельно-полевой эмиссии, может приводить к возникновению температурной зависимости скорости поверх-

ностной генерации. Такие центры могут возникать в слое  $\text{SiO}_2$  как в процессе его формирования, так и под влиянием внешних воздействий, в частности облучения. В связи с вышесказанным, целью данной работы было изучение влияния  $\gamma$ -облучения на температурную зависимость величины  $S_g$  на границе раздела  $\text{Si-SiO}_2$ , полученной при термическом окислении поверхности  $\text{Si}$ .

Исследуемая граница раздела формировалась в процессе термического окисления поверхности  $\text{Si}$   $n$ -типа проводимости с удельным сопротивлением  $0.3 \Omega \cdot \text{cm}$  и кристаллографической ориентацией  $(100)$ . Технология процессов окисления и последующего изготовления тестовых МДП-структур аналогична использованной в [5]. Полученные структуры облучались  $\gamma$ -квантами от источника  $^{60}\text{Co}$ , дозой  $10^6 \text{ rad}$ . Облучение проводилось в темноте, без смещения на полевом электроде.

Измерения процесса релаксации неравновесной емкости проводились на частоте тестового сигнала  $150 \text{ kHz}$ , при подаче на структуру, находящуюся в состоянии инверсии при напряжении  $V_1$  импульса напряжения  $\Delta V$ , переводящего структуру в состояние более глубокой инверсии. Использование данного режима измерений позволяет пренебречь вкладом, вносимым перезарядкой поверхностных состояний, в поверхностные генерационные токи [6]. Значения напряжения  $V_1$  определялись при помощи метода высокочастотных вольт-фарядных характеристик и составляли  $V_1 = -16 \text{ V}$  и  $V_1 = -30 \text{ V}$  до и после облучения исследуемых структур соответственно. Различие значений  $V_1$  до и после облучения обусловлено накоплением положительного заряда в объеме  $\text{SiO}_2$  и на границе  $\text{Si-SiO}_2$ -диэлектрик под влиянием облучения [7]. Величина  $\Delta V$  составляла —  $4 \text{ V}$  как для облученных, так и для необлученных структур.

На рисунке представлены температурные зависимости величины  $S_g$ , полученные для одной из исследуемых структур в интервале температур от  $-40$  до  $20^\circ\text{C}$  до и после  $\gamma$ -облучения. Из представленных зависимостей следует, что величина  $S_g$ , измеренная до облучения исследуемой структуры, остается в пределах ошибки измерений практически неизменной во всем интервале исследованных температур. Облучение исследуемой структуры  $\gamma$ -квантами ведет как к увеличению значений  $S_g$ , так и к возникновению температурной зависимости ее величины. Эффект возникновения температурной зависимости величины скорости поверхностной генерации под влиянием облучения наблюдался во всех исследованных структурах, несмотря на значительный



Температурные зависимости скорости поверхностной генерации: 1 — до облучения; 2 — после облучения.

разброс значений  $S_g$ , наблюдаемый как до, так и после облучения. Отметим, что разброс значений  $S_g$  для МДП-структур, полученных в едином технологическом цикле, является типичным для границы раздела Si-SiO<sub>2</sub> и, согласно [8], является следствием флуктуаций поверхностного потенциала в плоскости границы раздела.

Рассмотрим подробнее механизм возникновения температурной зависимости величины  $S_g$ . Согласно [4], величина скорости поверхностной генерации, определяемая при помощи метода изотермической релаксации емкости определяется выражением

$$S_g = (I_s + I_t)/(qn_iA), \quad (1)$$

где  $q$  — заряд электрона,  $n_i$  — собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике,  $A$  — площадь структуры,  $I_s$  — величина

поверхностных генерационных токов,  $I_t$  — величина токов, обусловленных процессами туннельной или туннельно-активационной перезарядки ловушечных центров в диэлектрике. Величина  $I_s$  определяется концентрацией поверхностных генерационных центров и изменяется по тому же закону, что и собственная концентрация носителей заряда [1,3]. Поэтому отношение  $I_s/(qn_iA)$ , входящее в правую часть выражения (1), не зависит от температуры. Величина  $I_t$  определяется концентрацией ловушечных центров в прилегающей к границе раздела области диэлектрика и не зависит (или слабо зависит) от температуры [1]. Следовательно, отношение  $I_t/(qn_iA)$  будет увеличиваться с понижением температуры, что приведет к возникновению температурной зависимости величины  $S_g$ . При малой концентрации ловушечных центров в объеме  $\text{SiO}_2$  величина  $I_t$  мала по сравнению с величиной  $I_s$ , при этом величина  $S_g$  будет определяться в основном не зависящей от температуры частью выражения (1). Таким образом, отсутствие температурной зависимости скорости поверхностной генерации в необлученных структурах свидетельствует о высоком качестве и однородности слоя  $\text{SiO}_2$ .

Облучение  $\gamma$ -квантами приводит к значительному увеличению концентрации как ловушечных центров в слое  $\text{SiO}_2$ , так и поверхностных генерационных центров и, следовательно, к увеличению значений  $I_s$  и  $I_t$ . В случае значительного увеличения концентрации ловушечных центров в объеме  $\text{SiO}_2$  слагаемое  $I_t/(qn_iA)$  вносит заметный вклад в величину  $S_g$ . При этом, согласно проведенному выше анализу, будет наблюдаться температурная зависимость скорости поверхностной генерации.

Таким образом, обнаруженная температурная зависимость величины  $S_g$  в облученных структурах обусловлена увеличением концентрации ловушечных центров в прилегающей к границе раздела области  $\text{SiO}_2$ . В заключение отметим, что, поскольку температурная зависимость величины  $S_g$  определяется наличием дефектов в прилегающей к границе раздела области диэлектрика, исследование температурной зависимости скорости поверхностной генерации может быть использовано для контроля качества диэлектрических слоев, наносимых на поверхность Si в процессе изготовления полупроводниковых приборов.

## Список литературы

- [1] Литовченко В.Г., Горбань А.П. Основы физики микроэлектронных систем металл–диэлектрик–полупроводник. Киев: Наук. думка. 1978. 316 с.
- [2] Zerbst M. // Z. Angew. Phys. 1966. V. 22. N 1. P. 3039–3046.
- [3] Kang J.S., Schroder D.K. // Phys. St. Sol. (a). 1985. V. 89. N 13. P. 13–44.
- [4] Власов С.И., Парчинский П.Б., Лигай Л.Г. // Микроэлектроника. 2003. Т. 32. № 2. С. 121–123.
- [5] Парчинский П.Б., Власов С.И., Муминов Р.А. и др. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 10. С. 40–45.
- [6] Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л.: Наука, 1981. 176 с.
- [7] Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. М.: Энергоатомиздат, 1998. 256 с.
- [8] Гольдман Е.И., Ждан А.Г. // ФТП. 1995. Т. 29. № 3. С. 428–437.