

06;11;12

## Влияние термополевой обработки и ионизирующего излучения на энергетический спектр поверхностных состояний на границе Si-SiO<sub>2</sub> МОП транзистора

© А.Э. Атамуратов, С.З. Зайнабидинов, А. Юсупов, Х.С. Далиев, К.М. Адинаев

Ургенский государственный университет им. Аль-Хорезми,  
740000 Ургенч, Узбекистан

(Поступило в Редакцию 18 февраля 1997 г.)

Энергетическое распределение поверхностных состояний (ПС) на границе Si-SiO<sub>2</sub> связано с дефектами, вопрос о природе которых остается до конца не выясненным. В данной работе изучалось влияние облучения и термополевой обработки (ТПО) на энергетический спектр ПС на межфазной границе (МФГ) Si-SiO<sub>2</sub> МОП транзистора.

Исследуемые образцы представляли собой *p*-канальные МОП транзисторы на основе кремния (КЭФ 7.5) с кристаллографической ориентацией (100). Подзатворный окисел толщиной 0.2 мкм и площадью  $1.87 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup> формировался термическим окислением монокристаллического кремния в потоке сухого кислорода с небольшой добавкой газообразного хлористого водорода при температуре 1150°С. Образцы облучались высокоэнергетическим тормозным гамма-излучением с максимальной энергией квантов в тормозном спектре 30 МэВ и плотностью потока энергии излучения в месте расположения образца 0.195 Вт/см<sup>2</sup>. ТПО проводилась в диапазоне температур 100–250°С с временем выдержки при каждой температуре 120 мин и напряженностью поля в окисле  $5 \cdot 10^5$  В/см.

Цель работы заключалась в изучении изменения вида энергетического спектра ПС на МФГ Si-SiO<sub>2</sub> МОП транзистора при облучении тормозным излучением и ТПО. Плотность ПС определялась методом подпорогового тока [1]. Эта методика не позволяет определить вид энергетического спектра ПС во всем диапазоне запрещенной зоны кремния для данного образца, но дает возможность получить определенную информацию о его изменении в небольшом энергетическом интервале при различных воздействиях. Согласно [1,2], эта методика может дать ошибку в определении плотности ПС на МФГ Si-SiO<sub>2</sub> для *p*-канальных МОП транзисторов не более 20% по сравнению с традиционным высокочастотным *C-V*-методом и методом накачки заряда [3,4]. Энергетический спектр ПС в запрещенной зоне кремния оценивался в интервале 0.25–0.50 эВ выше потолка валентной зоны кремния.

Результаты показали, что при облучении изменение интегральной плотности ПС на МФГ Si-SiO<sub>2</sub> в исследуемом диапазоне энергетического спектра имеет характер монотонного роста с увеличением времени облучения. Примечательно, что при этом наибольшее увеличение

дифференциальной плотности ПС наблюдается по мере приближения к валентной зоне (около 0.25 эВ от потолка валентной зоны). При больших временах облучения (650 мин) рост плотности ПС наблюдается в основном около нижней границы исследуемого диапазона (рис. 1).

ТПО необлученных транзисторов приводит к скачкообразному изменению вида спектра ПС. ТПО при 100, 150, 200°С не приводит к заметным изменениям спектра, но при 250°С вызывает резкое увеличение дифференциальной плотности ПС вблизи 0.25 эВ от вершины валентной зоны кремния, как и при облучении. Это, по-видимому, указывает на формирование сходных по природе дефектов, возникающих в этих случаях и, возможно, связанных с разрывом напряженных связей в области МФГ Si-SiO<sub>2</sub> [5]. Но в результате облучения в отличие от ТПО наблюдается также неоднородность энергетического спектра около 0.40 эВ от вершины валентной зоны, что, вероятно, связано с формированием

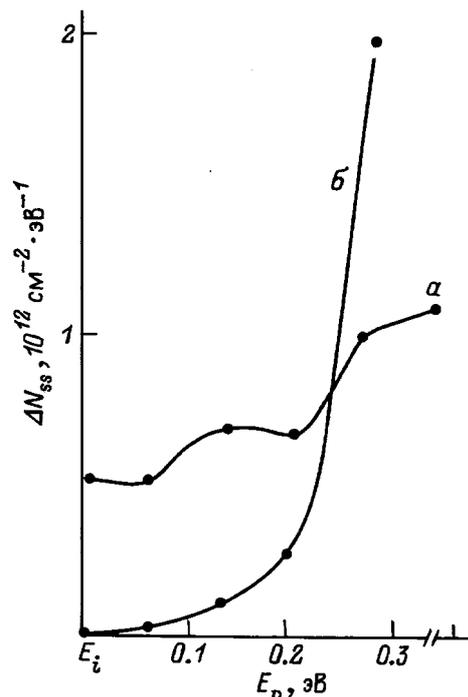
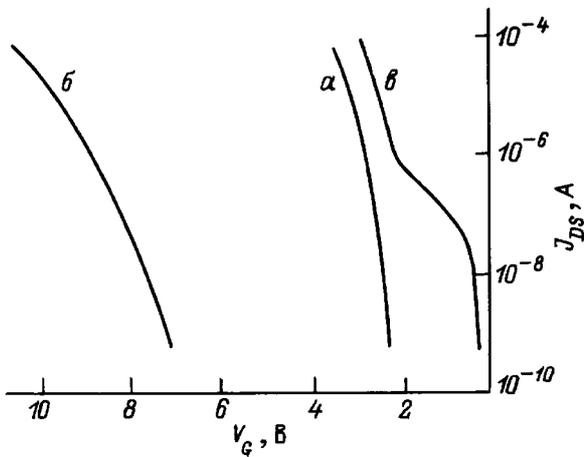


Рис. 1. Энергетический спектр ПС около середины запрещенной зоны кремния МФГ Si-SiO<sub>2</sub> МОП транзисторов, подвергнутых облучению (а) и ТПО (б).



**Рис. 2.** Подпороговые передаточные характеристики МОП транзистора в исходном состоянии (*a*), после облучения (*b*) и после ТПО (*c*).

при этом дополнительных типов дефектов. Это отличие, очевидно, обусловлено различным характером процессов, приводящих к формированию дефектов на МФГ Si-SiO<sub>2</sub>. Облучение приводит к смещению подпороговой передаточной характеристики в сторону больших, а ТПО — в сторону меньших отрицательных значений вдоль оси напряжения затвора (рис. 2). Это указывает на различное изменение положительного заряда около МФГ Si-SiO<sub>2</sub>: при облучении происходит увеличение, а при ТПО уменьшение величины положительного заряда. Первое в основном связано с генерацией электронно-дырочных пар [6], а второе, вероятно, с высвобождением из ловушек положительно заряженных образований (дырок или ионов водорода) (ПЗО), ответственных за положительный заряд около МФГ и генетически связанных с формированием структуры МОП транзистора. Участие ПЗО в физических реакциях около МФГ Si-SiO<sub>2</sub> при ТПО, по-видимому, приводит к увеличению плотности ПС.

## Список литературы

- [1] Winokur P.S., Schwank J.R., Mcwhorter P.J. et al. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1984. Vol. NS-31. N 6. P. 1453–1460.
- [2] Schwank J.R., Winokur P.S., Mcwhorter P.J. et al. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1984. Vol. NS-31. N 6. P. 1434–1438.
- [3] Terman L.M. // Sol. St. Electron. 1962. N 5. P. 285.
- [4] Groeseneken G., Maes H.E., Beltran N., De Keersmaecker R.F. // IEEE Trans. on Elect. Dev. 1984. Vol. ED-31. N 1. P. 42–53.
- [5] Sah C.T. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1976. Vol. NS-23. N 6. P. 1563–1568.
- [6] Gwyn C.W. // J. Appl. Phys. 1969. Vol. 40. N 12. P. 4886–4892.