

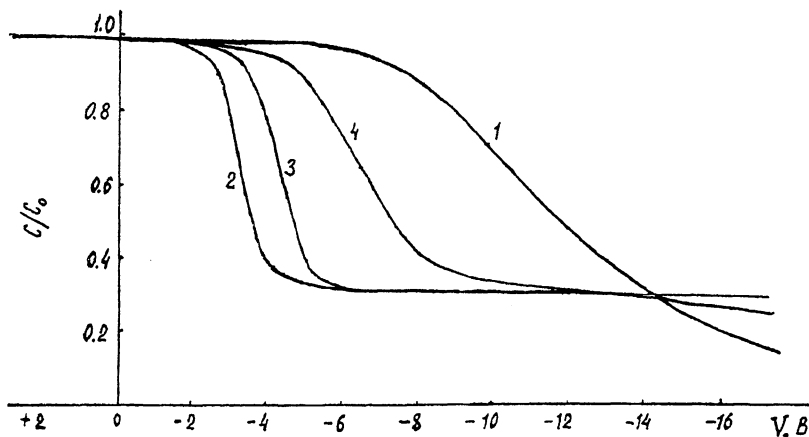
## МОП-СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО Cs

*И.С.Власов, А.А.Насиров, П.Б.Парчинский,  
В.А.Абдуазимов, Б.А.Олматов*

При производстве различных приборов на основе структур металл-окисел-полупроводник (МОП) широко используется процесс формирования на кремниевой подложке слоя пиролитического оксида кремния. Этот метод позволяет получать пленки окисла при более низких температурах (400–600°C) по сравнению с методом термического окисления [1], что приводит к улучшению объемных генерационно-рекомбинационных характеристик изготавливаемых структур. Однако в этом случае величина плотности поверхностных состояний (ППС) на границе раздела кремний-оксид кремния ( $\text{Si-SiO}_2$ ) и заряда в слое оксида кремния ( $10^{12}-10^{13} \text{ см}^{-2}$ ) значительно больше, чем в МОП структурах с термически выращенным  $\text{SiO}_2$ .

Ионное легирование [2] МОП структур ионами щелочных металлов (Cs, K и других) оказывает существенное влияние на электрические характеристики таких структур и приборов на их основе [3–5]. Так, в работе [3] производилась имплантация ионов цезия в поверхностный слой кремниевой пластины, которая затем окислялась при различных температурах. Установлено, что напряжение плоских зон таких МОП структур зависит от количества внедренных ионов, температуры и времени окисления. В [4] ионы Cs имплантировались в термически выращенный слой  $\text{SiO}_2$ . Там же показано, что зарядовое состояние легированной Cs системы диэлектрик-полупроводник определяется активацией примесных атомов Cs в диэлектрике и перемещением их к границе раздела  $\text{Si-SiO}_2$ . Это приводит к увеличению ППС на границе раздела  $\text{Si-SiO}_2$  и изменению диэлектрических свойств пленки окисла.

В данной работе приводятся результаты исследования имплантации ионов Cs в кремниевую подложку МОП структур с пиролитически выращенным слоем окисла. При этом ожидалось, что имплантированный в поверхностный слой цезий будет в основном находиться на границе раздела  $\text{Si-SiO}_2$  в приповерхностном слое кремния и ввиду большого ионного радиуса слабо перемещаться при термических воздействиях (отжиг, пиролитическое осаждение и др.). Вза-



Вольт-фарадные характеристики МОП структур: 1 — контрольные структуры (без примеси Cs в Si), 2–4 — структуры типа Al-SiO<sub>2</sub>-n-Si(Cs) с максимумом распределения концентрации Cs в Si на расстоянии 0.3; 0.2; 0.4 мкм от границы раздела Si-SiO<sub>2</sub>, соответственно.

Взаимодействие примесных атомов Cs с дефектами приграничной области Si и границы раздела Si-SiO<sub>2</sub> может изменить ППС и заряд, встроенный в SiO<sub>2</sub>.

Экспериментальные образцы представляли собой пластины кремния n-типа с удельным сопротивлением 5–10 Ом·см и ориентацией <100>. Пластины проходили стандартную химическую обработку, а затем в них методом ионной имплантации вводили цезий. Энергия ионов цезия 20–45 Кэв, время введения 5–15 мин. Далее пластины кремния отжигались при температуре 500–550°C в течение 20–40 мин.

Диэлектрический слой формировался методом пиролитического разложения моносилана при температуре 400°C. Затем методом вакуумного распыления алюминия наносили полевой электрод на SiO<sub>2</sub>.

На изготовленных таким образом МОП структурах проводились следующие измерения: плотности фиксированного заряда в SiO<sub>2</sub>, ППС на границе раздела Si-SiO<sub>2</sub>; распределения ППС по ширине запрещенной зоны Si; пробивного напряжения окисла. Все измерения усреднялись по 7–9 образцам.

На рисунке приведены типичные экспериментальные (нормированные к величине емкости окисного слоя C<sub>0</sub>) вольт-фарадные (C-V) характеристики (измеренные в темноте на частоте 1 МГц) МОП структур, изготовленных на кремниевых подложках с примесью цезия (кривые 2, 4) и

контрольных (без примеси Cs в Si) МОП структур (кривая 1). Из рисунка видно, что все  $C-V$  характеристики МОП структур с примесью Cs в кремнии сдвинуты в сторону уменьшения значения напряжения смещения при  $C/C_0 = \text{const}$  по сравнению с  $C-V$  характеристикой для контрольной МОП структуры. Это говорит о том, что эффективная ППС (т. е. суммарная ППС и заряд окисного слоя) в МОП структурах с примесью Cs в Si уменьшается по сравнению с эффективной ППС в МОП структурах, изготовленных на основе кремния, не легированного цезием.

На это указывают и значения плотности фиксированного заряда в диэлектрике, измеренные при напряжении "плоских зон" ( $V_{FB}$ ): для контрольных МОП структур —  $N_{PB} = 4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , для МОП структур с примесью цезия в Si (в зависимости от глубины залегания Cs в Si) —  $N_{PB} = 1-2.8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ .

Напряжение пробоя для контрольных структур составляло 20–25 В, в то время как для структур с примесью Cs в Si эта величина возрастала до 40–47 В.

Эффект уменьшения ППС и заряда в слое диэлектрика МОП структур с примесью Cs можно объяснить следующим образом. Примесные центры Cs взаимодействуют с однократно связанными кислородными центрами и с незавершенными связями гибридных  $sp^3$ -орбиталей трижды связанных центров Si в приповерхностных областях полупроводника и диоксида кремния, прилегающих к границе раздела Si-SiO<sub>2</sub>. В результате такого взаимодействия уменьшается положительный заряд, обусловленный "оборванными" или незавершенными связями Si-O, и, следовательно, уменьшается ППС. Уменьшение числа "напряженных" связей в приграничной области полупроводника приводит к уменьшению заряда, вводимого в диэлектрик при нарушениях этих связей (за счет повышения температуры или напряженности электрического поля), т. е. к уменьшению токов утечек и стабилизации диэлектрических свойств.

Таким образом, ионная имплантация цезия в кремниевую подложку МОП структуры и последующий термический отжиг позволяют уменьшить ППС и заряд в оксиде кремния, а формирование SiO<sub>2</sub> путем пиролиза при более низких температурах (по сравнению с термическим SiO<sub>2</sub>) позволяет улучшить генерационно-рекомбинационные объемные характеристики полупроводника. Более того, наличие цезия вблизи границы раздела Si-SiO<sub>2</sub> стабилизирует диэлектрические свойства SiO<sub>2</sub>, уменьшая сквозные токи утечек.

## Список литературы

- [1] Гурский Л.И., Румак Н.В., Куксо В.В. // Зарядовые свойства МОП-структур. Минск: Наука и техника, 1980. 200 с.
- [2] Мейер Дж., Эриксон А., Дэвис Дж. Легирование полупроводников ионным внедрением. М.: Мир, 1973. 296 с.
- [3] Sixt Q., Goetzberger A. // Appl. Phys. Lett. 1971. V. 19. N 11. P. 478-479.
- [4] Горбань А.Г., Карпюк А.И., Костылев В.П., Литовченко В.Г., Макаров А.В., Серба А.А. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. 1985. Вып. 7. С. 35-40.
- [5] Goetzberger A., Klausman E., Schulz M.J. // Crit. Revs Solid State Sci. 1971. N 6. P. 1-43.

Ташкентский  
государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
17 февраля 1995 г.

---