

РАДИОФИЗИКА

РАДИОФИЗИКА

RADIOPHYSICS

УДК 534.222.2

Никонова А. А.¹, Небеснюк О. Ю.¹, Шмалый С. Л.¹, Никонова З. А.²

¹Канд. техн. наук, доцент Запорожской государственной инженерной академии

²Канд. техн. наук, профессор Запорожской государственной инженерной академии

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МДП-СТРУКТУР

В статье приведены результаты исследования влияния термополевой обработки на характеристики МДП-структур.

Ключевые слова: заряд, термополевая обработка, МДП-структура.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Известно, что зарядовое состояние МДП-структур определяется наличием в диэлектрике целого ряда зарядов, появляющихся как в нормальных условиях, так и в условиях повышенных температур и электрических полей [1]. Чтобы повысить стабильность их характеристик и установить вероятностные причины появления зарядов в диэлектрике, были исследованы механизмы неустойчивости характеристик МДП-структур после термополевой обработки (ТПО).

Цель статьи – исследование влияния ТПО на характеристики МДП-структур.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известно, что неустойчивость эффективного заряда МДП-структур обусловлена генерацией или пространственным перераспределением заряда в диэлектрической пленке [2]. Это приводит к изменению величины зарядов в полупроводнике, а, следовательно, и к изменению поверхностного потенциала полупроводника. Исследования механизмов неустойчивости МДП-систем показали, что чаще всего неустойчивость связана с миграцией примесных ионов или переориентацией диполей в диэлектрике, накоплением носителей заряда на центрах захвата в объеме диэлектрика (рис. 1).

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В реальных МДП-структурах существует много состояний и зарядов, которые влияют на идеальные кривые вольт-фарадных характеристик (ВФХ) этих структур.

Основная классификация этих зарядов и состояний следующая:

- фиксированные поверхностные заряды, которые локализируются вблизи поверхности полупроводника и не способны перемещаться под действием приложенного электрического поля;
- заряды подвижных ионов, способные перемещаться по объему диэлектрика под действием внешнего электрического поля;

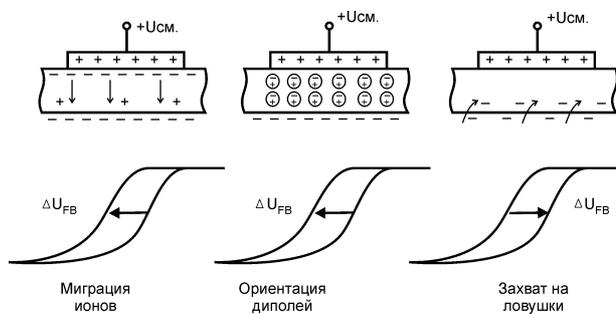


Рис. 1. Основные механизмы неустойчивости МДП-структур

– поверхностные состояния (или состояния на границе раздела), которые определяются как энергетические уровни в запрещенной зоне на границе раздела диэлектрик-полупроводник, способные обмениваться зарядом с полупроводником в течение короткого времени.

Фиксированный заряд обладает следующими свойствами:

– плотность фиксированного заряда не зависит от величины поверхностного изгиба зон или от приложенного смещения;

– фиксированный заряд неподвижен, центры, ответственные за его образование, остаются неподвижными при проведении термополевой обработки;

– полярность фиксированного заряда всегда положительна, поэтому термически окисленная поверхность всегда *n*-типа, даже если нет загрязнения ионами щелочных металлов;

– фиксированные заряды всегда локализируются вблизи границы раздела диэлектрик-полупроводник.

Фиксированный заряд вызывает смещение вольт-фарадной характеристики на величину [3]:

$$\Delta U_{\text{ФВ}} = Q_{\text{Ф}} / C_{\text{О}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{Ф}}$ – величина фиксированного заряда; $C_{\text{О}}$ – емкость МДП-структуры.

Установлено, что при наличии этого заряда напряженность поля в диэлектрике МДП-структуры оказывается выше напряженности поля поверхности полупроводника. Для получения заданной величины поля приходилось прикладывать больший потенциал.

Одна из причин нестабильности МДП-структур – наличие в диэлектрике подвижных заряженных частиц, типа ионов щелочных металлов (Na, Li) или протонов. Обычно этот заряд вводится в диэлектрик при формировании последнего.

Эти частицы обладают относительно большой подвижностью, которая возрастает с увеличением температуры. Поэтому под действием электрического поля, особенно при повышенных температурах (100–300 °С), эти заряженные ионы могут легко перемещаться в диэлектрике, что приводит к изменению (нестабильности) во времени потенциала плоских зон.

Подвижность щелочных ионов в диэлектрике в значительной мере определяется величиной ионного радиуса элемента. При этом загрязнения Li более ощутимы, чем загрязнения Na и K. Однако вследствие того, что Na более распространен в природе, чем Li, именно Na определяет ионный заряд в диэлектрике.

При исследовании МДП-структур методом ВФХ присутствие подвижных примесей проявляется в сильном сдвиге ВФХ относительно теоретической (рис. 2), особенно после термополевой обработки (рис. 3).

В качестве объекта исследований были взяты две партии пластин с тестовыми (эталонными) МДП-структурами (полупроводник Si *p*-типа с кристаллографической ориентацией (111), диэлектрик – стекло толщиной 1000 Å).

I партия пластин. Спекание стеклопорошка проводилось при температуре 725 °С в среде кислорода с расходом 0,8–1,2 в течение 1,5–3 часов. Осаждение стекла проводилось электрофоретическим способом. Процесс осаждения длился 40 секунд, оплавление стекла происходило при температуре 950 °С ± 10 % в горячей зоне в течение 30–45 секунд в атмосфере кислорода (100–200 л/час).

II партия пластин. Помол стекла для этой партии проводился на мельнице Fritsch в стаканах из оплавленного электрокорунда. Режимы осаждения и оплавления стекла полностью соответствовали технологическому процессу нанесения стекла: время осаждения – 1, $I_{\text{осажд.}}$ – 80 А, $U_{\text{осажд.}}$ – 200 В, $T_{\text{оплавл.}}$ – 950 °С в атмосфере кислорода.

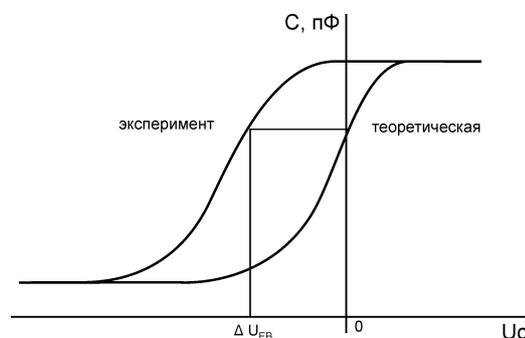


Рис. 2. Общий вид вольт-фарадной характеристики МДП-структур

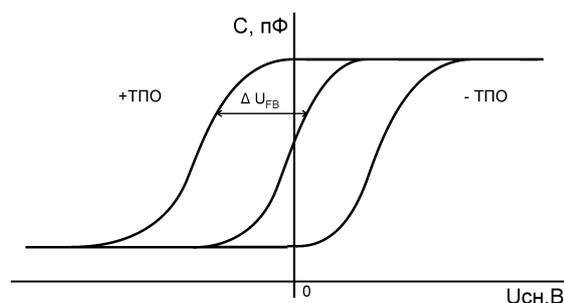


Рис. 3. Эффект действия термополевой обработки МДП-структур

После оплавления стекла пластины со структурами подвергались термополевой обработке, которая требует четкого контроля зарядов в диэлектрике. Для проведения исследований авторами была использована ранее разработанная мини-печь малой мощности с автоматизированным управлением параметрами полупроводниковых структур [4]. В ходе исследований установлено, что пластины с тестовыми структурами имели в исходном состоянии (при нулевом значении напряжения смещения) большие величины тангенса угла диэлектрических потерь. В связи с этим ВФХ на этих структурах не могли быть измерены.

Отдельные структуры при измерении ВФХ пробивались при подаче на них 50–100 В напряжения смещения. Образцы обеих партий (рис. 4, 5) имели отрицательный заряд. Эффективная плотность заряда, рассчитанная по ВФХ, составила $5\text{--}8 \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-2}$.

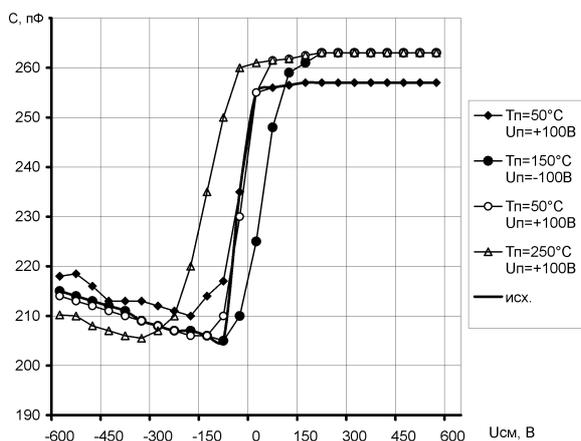


Рис. 4. Влияние термополевой обработки на зарядовое состояние тестовых МДП-структур. Партия I

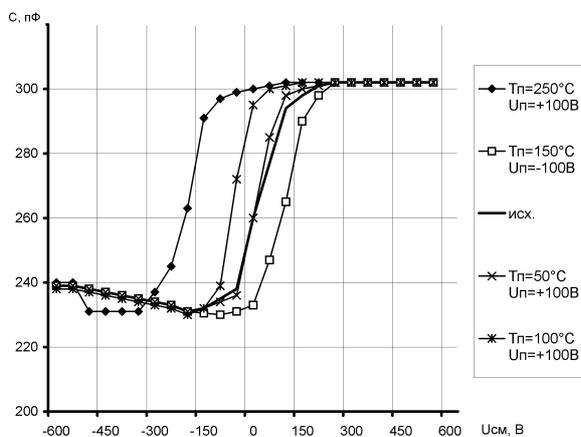


Рис. 5. Влияние термополевой обработки на зарядовое состояние тестовых МДП-структур. Партия II

Из экспериментальных данных (рис. 4, 5) следует, что на структурах, имеющих отрицательный заряд, после нагрева в обычной атмосфере до 250°C наблюдается смещение потенциала плоских зон в область отрицательных напряжений, т. е. заряд таких структур становится положительным.

ВЫВОДЫ

В ходе исследований установлено:

- термополевая обработка оказывает существенное влияние на зарядовое состояние тестовых структур (инверсия заряда в диэлектрике), что приводит к нестабильности характеристик МДП-структур;
- при незначительной температуре и подаче напряжения на структуры наступает пробой и дальнейшие измерения на них становятся невозможными;
- распределение зарядов в диэлектрике МДП-структур оказывает значительное влияние на пороговое напряжение, что приводит к нестабильности их проходных характеристик. После ТПО при температуре до 250°C наблюдалось существенное отклонение $U_{\text{пор}}$ ($\pm 1\text{--}1,15 \text{ В}$) от граничных условий.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. *Карабасов, Ю. С.* Новые материалы / Ю. С. Карабасов, В. Н. Анциферов, Ф. Ф. Бездудный, Л. Н. Белянчиков. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.
2. *Гуртов, В. А.* Электронные процессы в структурах металл – диэлектрик – полупроводник / В. А. Гуртов. – Петрозаводск, 1984. – 116 с.
3. *Nicollian, E. H.* MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology / E. H. Nicollian, J. R. Brews. – Wiley-Interscience, 1982. – 928 p.
4. *Ніконова, А. А.* Розробка міні-печі малої потужності з автоматизованим управлінням відпалу напівпровідникових структур / Ніконова З. А., Ситий М. Л., Шмалій С. Л. // *Металургія: збірник наукових праць.* – 2008. – Вип. 17. – С. 158–161.

Надійшла 06.09.2010
Після доробки 29.09.2010

Ніконова А. О., Небеснюк О. Ю., Шмалій С. Л., Ніконова З. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК МДН-СТРУКТУР

У статті наведено результати дослідження впливу термополевої обробки на характеристики МДН-структур.

Ключові слова: заряд, термополева обробка, МДН-структура.

Nikonova A. A., Nebesnjuk O. J., Shmaly S. L., Nikonova Z. A.

INVESTIGATION OF MIS STRUCTURE CHARACTERISTICS INSTABILITY MECHANISMS

The results of investigation are presented in the paper showing the influence of thermal processing on characteristics of MIS structures.

Key words: charge, thermal processing, MIS structure.