

06; 12

© 1993

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В МДП-ЭЛЕМЕНТАХ  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ВЫЗВАННЫЕ ИОНИЗИРУЮЩИМ  
ИЗЛУЧЕНИЕМ И ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМА.Г. К а д м е н с к и й, С.Г. К а д м е н с к и й,  
М.Н. Л е в и н, В.М. М а с л о в с к и й,  
В.Е. Ч е р н ы ш е в

Процессы долговременных изменений электрофизических параметров структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) наблюдались после воздействия ионизирующих излучений [1] и импульсного магнитного поля [2, 3]. Анализ взаимозависимости наблюдавшихся релаксационных эффектов представляет интерес как для выяснения механизмов воздействия полей различной природы на твердотельные объекты, так и для решения практических задач диагностики полупроводниковых приборов (ПП) и интегральных схем (ИС) и прогнозирования их поведения, в том числе в условиях воздействия внешних факторов. Существенная зависимость характера обсуждаемых релаксационных эффектов от технологии формирования МДП-структур не позволяет непосредственно сопоставить результаты работ [1] и [2, 3], выполненных на разных структурах.

В настоящей работе представлены некоторые результаты исследования воздействия радиации и импульсного магнитного поля, выполненные на одном объекте - р-канальных МДП БИС с поликремниевым затвором и сухим термическим подзатворным окислом.

В качестве радиационного воздействия использовалось мягкое рентгеновское излучение с энергией квантов до 20 кэВ, мощностью экспозиционной дозы 50 Р/с и экспозиционной дозой  $D$  до  $10^5$  Р. Импульсное магнитное поле было однонаправленным, имело максимальную напряженность  $5 \cdot 10^5$  А/м и длительность импульса 30 мкс. Продолжительность воздействия составляла две секунды при частоте следования импульсов 50 Гц. Обработка МДП БИС проводилась без подачи напряжений на тестовые транзисторы.

Контролировались изменения порогового напряжения ( $V_{th}$ ) и его компонент, обусловленных объемным зарядом в окисле ( $V_{ot}$ ) и зарядом поверхностных состояний ( $V_{it}$ ). Значения этих компонент определялись по вольт-амперным характеристикам (ВАХ), включающим область подпороговых токов. Расчет проводился с учетом короткоканальных эффектов, описанных в [4]. Кроме того, методом „накачки заряда“ [5] определялось энергетическое распределение плотности поверхностных состояний (ПС) по ширине запрещенной зоны кремния.

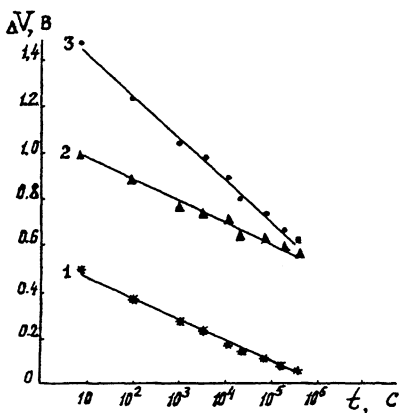
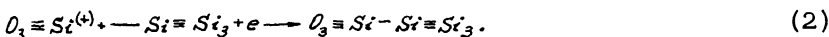
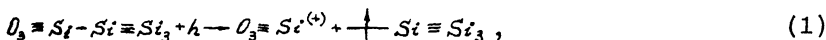


Рис. 1. Временные релаксации параметров р-МОП транзисторов после рентгеновского облучения экспозиционной дозой  $10^5$  Р. 1 -  $V_{it}$ , 2 -  $V_{ot}$ , 3 -  $V_{th}$ .

Результаты воздействия ионизирующего излучения и импульсного магнитного поля на р-МОП БИС показаны на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

Рентгеновское облучение приводило к накоплению положительного (дырочного) заряда в объеме окисла и генерации (ПС). Величина и знак  $V_{it}$  определялись положительным зарядом на ПС донорного типа, расположенных в нижней половине запрещенной зоны кремния. Характерной особенностью наблюдавшегося релаксационного процесса явилось синхронное изменение заряда в окисле и на ПС. Дозовые зависимости изменения  $V_{ot}(D)$  и  $V_{it}(D)$  так же были подобны. Эти результаты свидетельствуют о едином для ПС и объемного заряда (или его части) механизме радиационной генерации и последующего отжига. Методом „накачки заряда“ [5] установлено, что энергетическое распределение плотности ПС имеет пик с максимумом при энергии  $E_V + 0.75$  эВ. Такой спектр ПС характерен для  $P_B$  - центров [6]. Полученные результаты могут быть непротиворечивым образом объяснены на основе следующих реакций:



Первая реакция описывает разрыв напряженной  $Si-Si$  связи на границе раздела  $Si-SiO_2$  при захвате дырок, генерируемых излучением. В результате образуются ПС ( $P_B$  - центры) и положительно заряженные  $E'$  - центры в окисле. Обратная реакция имеет место при туннельном переходе электрона из кремния на  $E'$  - центр с последующим восстановлением  $Si-Si$  связи. В пользу туннельного механизма свидетельствует лагорифмическая зависимость

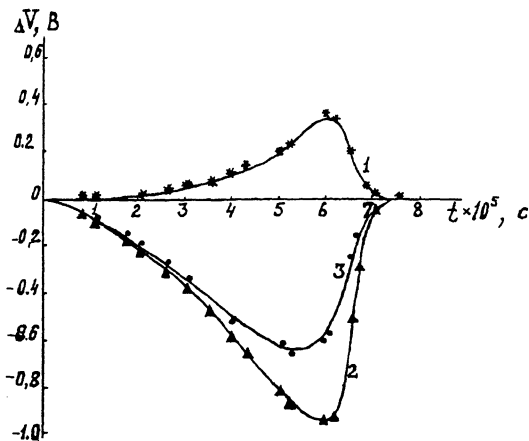
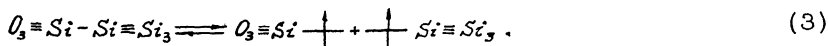


Рис. 2. Временные изменения параметров р-МОП транзисторов после обработки импульсным магнитным полем (100 импульсов длительностью 30 мкс и амплитудой  $5 \cdot 10^5$  А/м). 1 -  $V_{it}$ , 2 -  $V_{ot}$ , 3 -  $V_{th}$ .

долговременной релаксации объемного заряда в окисле [7]. Следует отметить, что предложенный механизм относится лишь к части радиационно индуцированного заряда, поскольку другая его часть не отжигается в диапазоне неразрушающих температур (до  $475^\circ\text{C}$ ). Эта неотжигаемая часть положительного заряда полностью (до исходного значения) устранялась при воздействии ультрафиолетового (УФ) излучения ближнего диапазона (до 6 эВ) [8].

Воздействие импульсного магнитного поля приводило к генерации ПС и отрицательного заряда в окисле. Энергетическое распределение ПС, определенное методом „накачки заряда“, совпадало со спектром радиационно индуцированных ПС, что также позволило идентифицировать их как  $\rho_s$  - центры. Генерация отрицательного объемного заряда и ПС происходила медленнее, чем последующая их релаксация до исходных значений. Релаксации ПС и заряда в окисле происходили синхронно. Полученные результаты могут быть непротиворечиво объяснены на основе представлений, развитых в [2, 3]. Воздействие импульсного магнитного поля может приводить к динамической поляризации ядер атомов кремния  $Si^{29}$ . После прекращения действия магнитного поля поляризация спинов электронов обусловлена сверхтонким взаимодействием с поляризованными ядрами. Изменение ориентации спина электрона, участвующего в формировании напряженной  $Si-Si$  связи на границе  $Si-SiO_2$ , приводит к заполнению антисвязывающих орбиталей и распаду химической связи. В результате образуются  $\rho_s$  - центр и нейтральный атом кремния, связанный с тремя атомами кислорода и имеющий один электрон на свободной орбитали:



Эта орбиталь может быть заполнена вторым электроном, тунелировавшим из кремния, с образованием отрицательно заряженного центра в окисле:



Релаксации плотности ПС и заряда окисла к исходным значениям определяются обратными реакциями (3) и (4). Отметим, что освещение УФ ближнего диапазона не влияло на кинетику накопления отрицательного заряда в окисле. Следовательно, кинетика этого процесса определяется темпом разрыва напряженных  $Si-Si$  связей. а не заполнением свободных орбиталей трехкоординированного кремния вторым электроном.

Представленные экспериментальные результаты можно рассматривать как первый шаг к выяснению взаимосвязи механизмов долговременных релаксаций в базовых элементах микроэлектроники при воздействии на них ионизирующих излучений и импульсного магнитного поля. Отметим, что впервые установленное в работе долговременное изменение спектра состояний на границе  $Si-SiO_2$  после окончания воздействия импульсного магнитного поля по своему характеру аналогично долговременным структурным изменениям в полупроводниковых системах после такого же воздействия, установленным в [9].

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К а д м е н с к и й С.Г., Л е в и н М.Н., Л и т м а н о в и ч В.И. Релаксационные процессы в облученных структурах металл-диэлектрик-полупроводник. Релаксационные процессы в диэлектриках. Межвузовский сборник научных трудов, Воронеж, 1990. С. 106-110.
- [2] К л и м о в Ю.А., М а с л о в с к и й В.М., Т а р а с е н к о В.В. Долговременные релаксации электрофизических параметров полупроводниковых структур после воздействия магнитным полем. Обработка импульсным магнитным полем. Материалы 1У Международного семинара по нетрадиционным технологиям, София, 1989. С. 44-54.
- [3] К л и м о в Ю.А., М а с л о в с к и й В.М., Т а р а с е н к о В.В. // Электронная техника. Сер. 3. 1990. Вып. 5(139). С. 20-25.
- [4] Л е в и н М.Н., К а д м е н с к и й С.Г., Л и т м а н о в и ч В.И., Т а т а р и н ц е в А.В., Ч е р н ы ш е в В.Е. // Микроэлектроника. 1992. Т. 21. С. 34-41.
- [5] H e r e m a n s P., W i t t e r s J., G r o e s e n e k e n G., M a e s H.E. // IEEE Trans. Fl. Dev. 1989. V. 36. N 7. P. 1318-1335.

- [6] B i e g e l s e n D., J o h n s o n N., P o i n d e x t e r E.H., C a p l a n P. // Appl. of Surface Science. 1985. V. 22/23. P. 879-890.
- [7] M a n z i n i S. and M o d e l l i A. Tunneling discharge of trapped holes in silicon dioxide. / Insulating Films on Semiconductors. New York. 1983. P. 112-115.
- [8] Г и т л и н В.Р., К а д н е н с к и й С.Г., Л е в и н М.Н. и др. // Электронная техника. Сер 7. 1990. Т. 6 (165). С. 23-26.
- [9] В л а с о в В.П., К а н е в с к и й В.М., П у р ц х в а - н и д з е А.А. // ФТТ. 1991. Т. 33. С. 2194-2197.

Поступило в Редакцию  
20 августа 1992 г.