

06.1;12

©1994

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МДП СТРУКТУР, ИНДУЦИРОВАННОЕ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

М.Н.Левин, Ю.О.Личманов, В.М.Масловский

В работах [1,2] был обнаружен эффект магнитно-индуцированного долговременного изменения электрофизических параметров систем Si-SiO₂, продолжающегося более недели после кратковременного воздействия импульсным магнитным полем (ИМП). Одним из важных параметров МДП структур является их зарядовая стабильность (ЗС) — величина заряда, пропускание которого через диэлектрик МДП структуры приводит к его необратимому пробою. Согласно результатам [3] ЗС на единицу площади бездефектных структур зависит от технологии изготовления, и при толщине SiO₂ в диапазоне 10–50 нм достигает 10 Кл/см². В данной работе впервые обнаружены магнитно-индуцированные изменения гистограмм ЗС МДП структур на основе кремния, свидетельствующие о долговременном изменении поверхностей плотности выявляемых протяженных дефектов (микродефектов) у межфазной границы Si-SiO₂. Оказалось, что увеличение плотности микродефектов носит немонотонный характер и коррелирует с увеличением туннельного тока через пленку термического SiO₂. Долговременные изменения электрофизических параметров МДП структур связываются с развитием диффузионной неустойчивости в приповерхностной области кремния, которую может индуцировать воздействие ИМП.

Для исследования использовалось МДП структуры, полученные термическим окислением кремниевой подложки КЭФ-4.5 в атмосфере сухого кислорода. Толщина диоксида составляла 47 нм, площадь Al электрода — 1 мм². Регистрировались гистограммы напряжений заданной утечки V_y , соответствующие напряжению n МДП структуре при пропускании тока 10 нА, и гистограммы ЗС. Для регистрации указанных гистограмм использовалась партия пластин, изготовленных в одних технологических условиях. Пластины со сформированными на них МДП структурами разрезались пополам и на одну половину каждой пластины одновременно воздействовали ИМП (амплитуда 0.1–0.2 МА/м, длительность порядка 30 мкс).

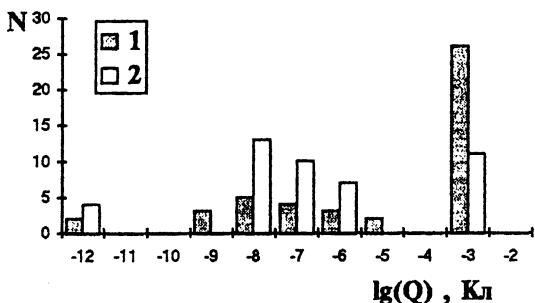


Рис. 1. Гистограмма ЗС МДП структур. 1 — до воздействия (заштрихована), 2 — через 140 ч после воздействия ИМП.

Заметные изменения гистограммы зарядовой стабильности наблюдались более чем через 100 ч после кратковременного (менее 20 с) воздействия ИМП. Изменение гистограммы зарядовой стабильности через 140 ч после воздействия отражено на рис. 1, на котором отражена также исходная гистограмма (заштрихована). Полагая, что распределение микродефектов на площади пластины соответствует случайному, концентрация дефектов, в соответствии с распределением Пуассона, определяется следующим образом $D = -\ln(\alpha)/S$, где α — доля бездефектных структур с зарядовой стабильностью $Q > 10^{-3}$ Кл (т.е. соответствует типичному значению ЗС на единицу площади $10^{-1} < Q/S < 1$ Кл/см² для бездефектных МДП структур). Результаты (рис. 1) свидетельствуют о существенном увеличении выявляемой с помощью гистограмм зарядовой стабильности плотности дефектов в результате воздействия ИМП. Плотность дефектов $D = 141$ см⁻² значительно превосходит исходную $D = 55$ см⁻² на той же пластине. Исходная плотность микродефектов на всех пластинах была зарегистрирована в диапазоне 50–60 см⁻². Отметим, что плотность дефектов на той же пластине после облучения γ -квантами Co^{60} дозой 10^6 рад превышала 200 см⁻². Положение пика бездефектных структур на гистограмме ЗС не изменилось. Это обусловлено тем, что предобойная деградация таких структур идет по основной части площади диэлектрической пленки [4], ввиду отсутствия в диэлектрике областей с большой флуктуацией положительного заряда, которые индуцируются наличием микродефектов.

Новый результат состоит в долговременном изменении плотности микродефектов, выявляемых с помощью гистограмм ЗС после воздействия ИМП на Si-SiO₂ систему

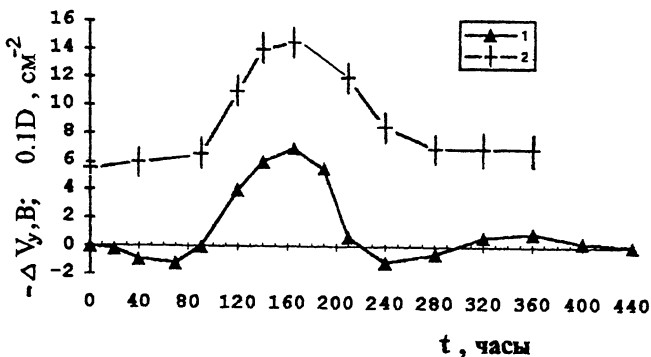


Рис. 2. Временные зависимости изменения параметров МДП структур после воздействия ИМП. 1 — изменение напряжения заданной утечки ΔV_y , 2 — плотность микродефектов у границы Si-SiO₂.

(рис. 2), аналогичном обнаруженному в полупроводниковых соединениях $A^{III}B^V$ после воздействия импульса магнитного поля той же амплитуды и длительностью 10–20 с [5]. Это свидетельствует в пользу единого механизма изменения реальной структуры полупроводниковых систем после окончания воздействия магнитного поля, предложенного в [6–7]. Оказалось, что увеличение плотности выявляемых микродефектов (т.е. увеличение доли МДР структур с малой ЗС) коррелирует (рис. 2) со сдвигом пика напряжения заданной утечки V_y бездефектных МДП структур в область меньших значений. Напряжение V_y соответствует напряжению на МДП структуре при пропускании через диэлектрик заданного тока 10 нА. Долговременное изменение напряжения V_y после воздействия ИМП было установлено ранее [8,9]. Изменение напряжения V_y связывалось с появлением значительных флуктуаций плотности встроенного в диэлектрике заряда. Эти флуктуации наиболее значительны в области микродефектов, характеризующихся повышенной концентрацией напряженных Si-Si и Si-O связей у межфазной границы Si-SiO₂. Это обстоятельство и обеспечивает локализацию тока в областях микродефектов у межфазной границы, характерная площадь которых составляет 1–10 мкм² [9] и, соответственно, малую ЗС дефектной МДП структуры. Изменение плотности заряда (и соответственно ее флуктуаций) у межфазной границы, индуцированное воздействием ИМП приводит к увеличению плотности регистрируемых протяженных дефектов Si-SiO₂ системы. Об увеличении флуктуаций этой плотности заряда свидетельствует регистрируемое после воздействия ИМП значитель-

ное уменьшение напряжения V_y по сравнению с исходным $V_y = 35$ В. При этом изменение средней величины встроенного заряда невелико, так как сдвиг напряжения плоских зон ΔV_{fb} порядка 0.5 В.

В данной работе получена более детальная регистрация долговременных изменений V_y (рис. 2, кривая 1). Характер этих изменений близок к обнаруженному в [10] изменению порогового напряжения серийных p -канальных МОП транзисторов. Однако изменения V_y более значительны, что связано с сильным влиянием заряженных центров в диэлектрике на туннельный ток через него. Наиболее интересный результат состоит в том, что изменения V_y носят колебательный характер. По-видимому, это изменение связано с реакцией неравновесных быстродиффундирующих примесных и собственных точечных дефектов, геттерируемых межфазной границей раздела, с напряженными связями в результате которой возможно появление заряженных центров в диэлектрике (например, E' центров [10]). Аналогичные колебания концентрации неравновесных дефектов в кремнии при ионной имплантации и ионизирующем облучении были описаны в [11]. Источником появления неравновесных дефектов в обоих случаях являются локальные квазихимические реакции. Характерное время τ появления флуктуации определяется ее линейным размером L и коэффициентом диффузии быстродействующих примесей: $\tau \approx L^2/D$ [11].

Согласно результатам [8,11], характерный линейный размер флуктуации неравновесных дефектов в приповерхностной области кремния составляет порядка 1–3 мкм. Поэтому, согласно рис. 2, где $\tau \approx 150$ ч, получаем значение $D \approx 10^{-14} - 10^{-13}$ см² · с⁻¹, которое соответствует коэффициенту диффузии быстродействующих примесей (вакансия, водород и переходные металлы). Локальные квазихимические реакции индуцируются воздействием ИМП, приводящим к распаду примесно-дефектных комплексов в приповерхностной области кремния. В соответствии с представлениями [6–8] распад примесно-дефектных комплексов связан с увеличением заполнения возбужденных триплетных состояний дефектов во время релаксации поляризации электронно-ядерной спиновой системы после выключения ИМП. Обнаруженный автоколебательный характер изменения параметров Si–SiO₂ системы аналогичен автоволновым процессам в твердотельных системах с диффузией (возникновение диффузионной неустойчивости), описанным в [12].

Выводы

Результаты работы подтверждают информативность регистрации гистограмм зарядовой стабильности для контроля дефектности системы Si-SiO₂. Установлена корреляция изменения плотности регистрируемых по гистограмме ЗС микродефектов с напряжением на МДП структуре при пропуске через диэлектрик заданного тока. Колебательный характер изменения этого напряжения связан с изменением зарядового состояния диэлектрика у межфазной границы и обусловлен возникновением диффузионной неустойчивости в подсистеме неравновесных точечных дефектов, генерированных воздействием ИМП.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта: 93-02-2701).

Список литературы

- [1] Масловский В.М., Постников С.Н. // Матер. IV Междунар. науч.-техн. сем. по нетрадиционным технологиям. София, 1989. С. 5-14.
- [2] Масловский В.М., Минаев В.В., Наумов С.В., Постников С.Н. // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. 1989. В. 5 (134). С. 59-60.
- [3] Chen I.C., Holland S., Hu C. // IEEE Trans. Electron Device. 1985. V. ED-32. P. 413-418.
- [4] Михайловский И.П., Овсяк В.Н., Эпов А.Я. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. Вып. 17. С. 1051-1054.
- [5] Давыдов В.Н., Лоскутова Е.А., Найден Е.П. // ФТП. 1989. Т. 23. С. 1596-1600.
- [6] Климов Ю.А., Масловский В.М., Холоднов К.В. // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. 1991. В. 5 (144). С. 22-28.
- [7] Kholodnov K.V., Maslovsky V.M., Samsonov N.S. // Materials Research Society Fall Meeting. Boston 1992, Abstracts. P. 133.
- [8] Klimov J.A., Maslovsky V.M., Samsonov N.S. *International Conference on Advanced and Laser Technologies, ALT92. Moscow, 1992, Book of summaries, part 5, P. 58-60.*
- [9] Климов Ю.А., Масловский В.М., Тарасенко В.В. // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. 1990. В. 5 (139). С. 20-25.
- [10] Кадменский А.Г., Кадменский С.Г., Левин М.Н., Масловский В.М., Чернышев В.Е. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 3. С. 41.
- [11] Verner I.V., Corbet J.W. // Rad. Eff. and Def. in Solids. 1990. V. 112. P. 85-88.
- [12] Таланов В.И. // В сб.: Нелинейные волны. Самоорганизация. М.: Наука, 1983. С. 47-56.

Научно-исследовательский
институт физических проблем
Москва

Поступило в Редакцию
10 ноября 1993 г.