ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПЛАНАРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ В МОП СТРУКТУРАХ

Г.А.Лисовский

НИИ прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко, ул. Курчатова,7. 220106, Минск, Беларусь. Тел. 775945

Исследован профиль распределения радиационно-индуцированных поверхностных состояний (ПС) в окрестности стокистоковых переходов комплементарной пары МОП ПТ. Для корректного измерения средней по площади плотности ПС осуществлена модификация метода накачки заряда. Режим измерений поддерживал постоянным энергетическое окно ($E_1 \pm 0.25$ эВ) и задавался в каждой точке канала соответствующим выбором базового смещения и амплитуды зондирующих импульсов напряжения. Получено, что плотность ПС в центре канала р-ПТ меньше 3 10^{11} , а в n-ПТ больше 1.6 10^{12} см⁻² эВ⁻¹. Профили распределения локальной плотности ПС по своей форме различаются для обоих типов приборов. В рамках модели напряженных связей полученные результаты объясняются различиями в планарном распределении упругих полей, индуцированных примесями с различными ковалентными радиусами в локальных областях (карманы, сток-истоковые переходы).

I. Введение

Хорошо известно, что в МОП приборах, подвергнутых воздействию ионизирующих излучений, происходит сдвиг порогового напряжения и уменьшение подвижности носителей. Деградация приборов вызвана главным образом накоплением положительного заряда в слое SiO₂ и генерацией поверхностных состояний (ПС) на границе раздела SiO₂/Si. Образование ПС связывается с существующими механически напряженными связями вблизи поверхности SiO₂/Si. Было показано, что процесс генерации ловушек сильно зависит от геометрии металлического затвора и его толщины и эта зависимость объясняется изменением распределения механических напряжений (МН) на границах раздела [1-3]. В связи с этим следует предположить, что влияние МН в элементах небольших размеров будет усиливаться из-за эффектов концентрации упругих полей по краям конструктивных элементов.

Цель настоящей работы - исследовать радиационную генерацию ПС в комплиментарной паре тестовых МОП полевых транзисторов (МОП ПТ).

II. Методика эксперимента

Одним из наиболее эффективных методов для изучения явления деградации в МОП ПТ является метод накачки заряда. Согласно теоретической модели для тока накачки [4], можно получить как среднее по энергии значение ПС $\,D_{it}^{\, \bullet} \,$, так и их энергетическое распределение, не используя данные по зависимости поверхностного потенциала от приложенного напряжения. При этом предполагается однородное распределение ПС в планарной плоскости приборов. Однако в [5] этот факт ставится под сомнение и для правильной интерпретации результатов по накачке заряда предлагается интегрирование локальной плотности ПС. Сущность методики [5] заключается в модуляции эффективной длины канала Leff в зависимости от обратного смещения на стокистоковых переходах V_R. В таком случае ПС, расложенные в пределах обедненной области пе реходов, не дают вклада в ток накачки, величина которого пропорциональна произведению L_{eff} W (W - ширина затвора). Следует отметить, что измерения [5] проведены в режиме сканирования базовым уровнем при постоянной амплитуде тестовых импульсов. Такой режим, на наш взгляд, вносит ошибки в результаты измерений. Действительно, в методе накачки [4] измеряется средняя по энергии величина плотности ПС:

по энергии величина плотности ПС:
$$D_{it} = \frac{1}{\Delta} \sum_{E_1}^{E_2} D_{it} (E) dE$$

Пределы интегрирования определяются временами нестационарной эмиссии носителей с ПС, что технически реализуется заданием определенной длительности переднего и заднего фронтов треугольных или трапециидальных импульсов напряжения, прикладываемых к затвору МОП ПТ. В случае [5] увеличение V_R вызывает рост порогового напряжения V_T (эффект влияния подложки), что, в свою очередь, при постоянной амплитуде тестовых импульсов сопровождается ростом времени эмиссии и сужением энергетического диапазона зондируемых ПС. Следовательно, с увеличением V_R получаемые значения D. не будут соответствовать средней по площади величине, поскольку при этом накладываются эффекты, связанные с изменением ширины энергетического окна. Для более корректных измерений мы видоизменили метод [5], что позволило осуществить "привязку" к фиксированному энергетическому диапазону (ФЭД) на протяжении всего эксперимента.

С этой целью применялись импульсы с экспоненциальной формой фронтов и изменяющимися значениями базового уровня V_b и амплитуды $_aV_g$. Возьмем для определенности случай р-ПТ. Пусть постоянные времени переднего и заднего фронтов импульсов равны τ_1 и τ_2 , соответственно. Тогда по аналогии с [4] времена нестационарной эмиссии электронов и дырок с ПС равны:

$$t_a = \tau_1 \ln \left(\frac{\Delta V_G - V_{FB} + V_b}{\Delta V_G - V_T + V_b} \right) = \tau_1 \ln \alpha_1$$

3-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 6-8 октября 1999 г., Минск, Беларусь 3-d International Conference «Interaction of Radiation with Solids», October 6-8, 1999, Minsk, Belarus

$$t_h = \tau_2 \ln \left(\frac{V_T - V_b}{V_{FB} - V_b} \right) = \tau_2 \ln \alpha_2$$

где V_{FB} - напряжение плоских зон. Потребовав постоянство коэффициентов α_1 и α_2 , что аналогично условию ФЭД, найдем соотношения, определяющие базовый уровень и амплитуду:

$$V_b = (V_T - \alpha_1 V_{FB})(1 - \alpha_1)^{-1}$$

$$_{\Delta}V_{G} = [V_{FB} - V_{b} + \alpha_{2}(V_{b} - V_{T})](1 - \alpha_{2})^{-1}$$

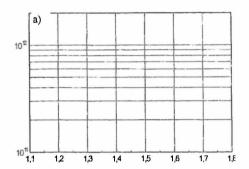
При использовании $\Phi \Im A$ нужно учитывать следующее обстоятельство. Для зондирования ПС, расположенных далеко от концов канала, необходимо увеличивать амплитуду зондирующих импульсов, что может вызвать туннельную инжекцию носителей из подложки в SiO_2 . Поэтому для ПТ с тонким подзатворным окислом порядка 0.03 мкм предел сканирования по длине канала будет определяться не столько величиной пробойных полей на сток-истоковых переходах, сколько началом процесса деградации во время измерения. Мы установили, что амплитуда импульсов ограничена сверху величиной 7 MB/см.

III. Экспериментальные результаты и их обсуждение

В настоящей работе исследовалось влияние гамма излучения ${\rm Co}^{60}$ (доза ${\rm 10}^5$ Гр) на профиль планарного распределения ПС в комплементарной паре МОП ПТ по приведенной выше модифицированной методике. Подзатворный окисел толщиной 0.03 мкм формировался пирогенным окислением пластин кремния КЭФ-4.5 при температуре 850°C. Для предотвращения эффекта смыкания в р-канальном приборе формировался псевдокарман путем ионного легирования фосфором дозой 0.8 мкКл/см² и энергией 100 кэВ. Окончательный послеимплантационный отжиг проводился при 1200°C в азоте в течение 480 мин. Глубина сток-истоковых переходов R_j составляла 0.4 и 0.5 мкм для р- и п-канальных транзисторов, соответственно. Учитывая, что профиль примесей в карманах на расстоянии R₁ существенно не изменялся, для расчета эффективной длины канала использовался уровень легирования равный 1.1 10¹⁶ см⁻³. Длина каналов в пи р-ПТ составляла 4 и 5 мкм, соответственно. Для расчета L_{eff} , V_T и поправки δV_T , учитывающей вклад ОПЗ стока и истока в заряд ионизованных примесей в подложке, использовалась одномерная модель МОП ПТ [5]. Сечение захвата носителей на ПС определялось по методу [4]. Режим ФЭД обеспечивал зондирование ПС в энергетическом диапазоне E_i ± 0.25 эВ, где E_i - середина запрещенной зоны кремния. Величина и знак базового уровня соответствовали аккумуляции носителей у межфазной границы раздела SiO₂/Si.

На рисунке показано планарное распределение ПС вдоль канала p- и n-МОП ПТ. Если исходить из среднего значения \overline{D}_{it} в пределах всей длины канала, то по аналогии с [5] можно заключить, что плотность ПС в центре канала

Локальная плотность ПС, см⁻²эВ⁻¹



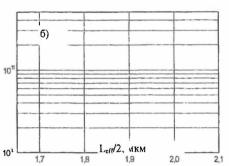


Рисунок. Профиль распределения радиационноиндуцированных ПС вдоль каналов n-(a) и p-(б) МОП ПТ. Параметры режима ФЭД: $\tau_1 = \tau_2$ =1.4 мкс, f = 47.62 кГц, $\alpha_1 = \alpha_2$ = 4. Начало отсчета по оси абсцисс соответствует середине канала.

р-ПТ меньше 3.10 '', а в n-ПТ больше $1.6\cdot10^{12}~\text{см}^{-2}~\text{эВ}^{-1}$. Профили распределения локальной плотности ПС по своей форме различаются для обоих типов приборов.

Полученные результаты можно объясобратившись к модели напряженнодеформированного состояния системы SiO₂/Si, согласно которой генерация ПС является следствием процесса радиационно-индуцированного разрыва силоксановых связей в подзатворном окисле [6]. При локальном легировании, например, при формировании карманов, в кремнии возникают деформации растяжения или сжатия в зависимости от ковалентного радиуса внедряемых атомов [7,8], что может ослаблять или усиливать напряжения в жестко сцепленном с кремнием слое окисла. Затухающие деформации распространяются также за пределы зоны легирования, что не исключает возможность модуляции механических напряжений в части подзатворного окисла, прилегающей к стоку и истоку. Обратим внимание на то, что формирование стокистоковых переходов и кармана в п-канальном приборе осуществляется фосфором и бором, соответственно, а в случае р-канала набор примесей обратный указанному. В этой связи можно предположить, что различия в профиле распределения генерированных ПС для п- и канальных МОП ПТ определяются отличиями в планарном распределении упругих полей, инду-

3-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 6-8 октября 1999 г., Минск, Беларусь
3-d International Conference «Interaction of Radiation with Solids», October 6-8, 1999, Minsk, Belarus

цированных примесями с различным ковапентным радиусом.

IV. Заключение

Для контроля локальной плотности межфазных ловушек необходимо обеспечивать постоянство энергетического диапазона зондируемых состояний, поскольку именно при этом условии регистрируемые изменения тока накачки будут определяться профилем планарного распределения ПС. Особенности в распределении состояний в окрестности сток-истоковых переходов могут образовывать как потенциальные барьеры на пути движения носителей в каналах, так и потенциальные впадины. В первом случае возможно проявление короткоканальных эффектов и увеличение статического тока потребления КМОП БИС. При переходе к субмикронным размерам МОП ПТ следует ожидать усиление роли планарных неоднородностей распределения ПС.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта Ф98-139.

Список литературы

- 1. Zekeriya V., Ma T-P. // Appl. Phys. Lett.-1984.-V.45.-N3.-P.249.
- 2. Chin M.R., Ma T.P. // Appl. Phys. Lett.-1983.-V.42.-N10.-P.883.
- 3. Kasama K., Toyokama F., Tsukiji H. et al. // IEEE Trans Nucl. Sci. 1986. -V.33.-N6.-P.1210.
- 4. Groeseneken G., Maes H.E., Keersmaecker R.F. // IEEE Trans, Electron. Dev. -1984. -V. ED-31.-N1.-P.42.
- 5. Plossu C., Choquet C., Lubowiecki V., Balland B. II Solid State Communications.-1988.-V.65.-N10.-P.1231.
- 6. Grunthanes F.J., Grunthanes P.J., Masesjan J. // IEEE Trans Nucl. Sci. -1982. -V.NS-29.-N6.-P.1462.
- 7. Големшток Г.М., Пантелеев В.А., Урман П.Н. // Микроэлектроника. -1983.-Т.12 -N5.-С.472.
- 8. Концевой Ю.А., Литвинов Ю.М., Фаттахов Э.А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур. М., 1982.-240 с.

INFLUENCE OF GAMMA RADIATION ON PLANAR DISTRIBUTION OF SURFACE STATES IN THE MOS STRUCTURES

G.A.Lisovskij

A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems, Kurchatov str. 7, 220064 Minsk, Belarus. Tel. 277 59 45

A profile of the radiation-induced surface states distribution in the vicinity of the drain-source junction of the complementary MOS field transistor was investigated. The charge pumping method has been modified for correct measurement of area-average density of surface states. The measurement mode supported constant energy range (E_I+0,25 eV) and was controlled in each point by means of variation of the gate voltage pulse parameters and amplitude of voltage pulse bang. It was shown that surface states density in the middle of the channel of p-type is less than 3×10^{11} and n-type is more than $1,6\times10^{12}$ cm⁻²eV⁻¹. Distribution profiles of local densities of the surface states are difference on forms for both types of units. In accordance with the strained bond model the finding results are explained by difference in planar distribution of mechanical stresses induced by dopes with various covalent radiuses in local areas (wells, drain-source junctions, etc.).

3-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 6-8 октября 1999 г., Минск, Беларусь 3-d International Conference «Interaction of Radiation with Solids», October 6-8, 1999, Minsk, Belarus