

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ НИТРИДА КРЕМНИЯ НА ВРЕМЯ ХРАНЕНИЯ ЗАРЯДА В ДЕГРАДИРОВАННЫХ МНОП-СТРУКТУРАХ

А. И. Агафонов, А. Ф. Плотников, В. Н. Селезнев,
Г. Г. Эльдаров

УДК 621.382

Установлено увеличение времени хранения заряда с уменьшением толщины нитрида кремния в деградированных МНОП-элементах памяти. Показано, что в процессе стекания центрида захваченного заряда уменьшается, что объясняется изменением механизма стекания заряда у деградированных структур.

Известно [1], что при многократном повторении циклов записи - стирания информации в МНОП-структурах (металл - нитрид кремния - двуокись кремния - полупроводник) наблюдается увеличение скорости релаксации заряда, захваченного в диэлектрическом слое нитрида кремния, что обуславливает уменьшение времени хранения информации (деградационные явления).

Однако до сих пор влияние толщины диэлектрика на деградационную устойчивость структур оставалось неясным. В работе изучается зависимость времени хранения заряда в деградированных МНОП-структурах от толщины нитрида кремния.

Экспериментальные образцы изготовлялись на кремниевой подложке p-типа с ориентацией $\langle 100 \rangle$ и удельным сопротивлением $7,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Тонкий слой двуокиси кремния толщиной $(18 \pm 2) \text{ \AA}$ получался термическим окислением при температуре $800 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$. Диэлектрические слои нитрида кремния толщиной $300 - 1100 \text{ \AA}$ осаждались на подложку в вертикальном реакторе проточного типа при температуре $950 \text{ }^\circ\text{C}$ из парогазовой смеси $\text{SiCl}_4 - \text{NH}_3 - \text{H}_2$. В качестве металлического электрода использовался напыленный слой Al.

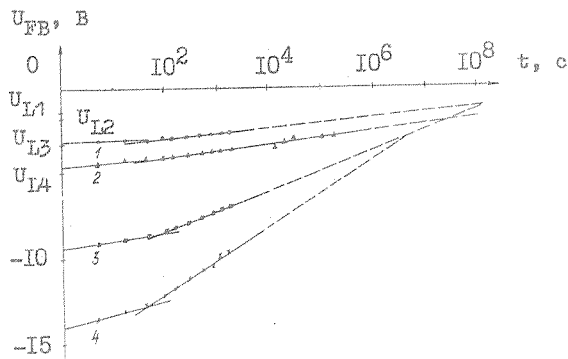
О величине накопленного заряда в нитриде кремния можно судить по изменению напряжения плоских зон U_{FB} , которое измерялось по стандартной C-U методике. Изменение U_{FB} со временем при релаксации захваченного заряда контролировалось в течение 10^4 с (на отдельных образцах измерения проводились до 10^6 с).

Известно, что при считывании информации в МНОП-элементе памяти, величина сигнала определяется величиной электрического поля на границе раздела полупроводник - диэлектрик. Исходя из этого, при сравнении свойств структур с разными толщинами нитрида кремния амплитуда переключающих импульсов (длительностью $\tau = 100$ мкс) подбиралась так, чтобы выполнялись условия:

$$U_{FB}(t = 0)/d_N = \text{const}, \quad U_L/d_N = \text{const},$$

где d_N - толщина нитрида кремния, U_L - граница логического окна переключения.

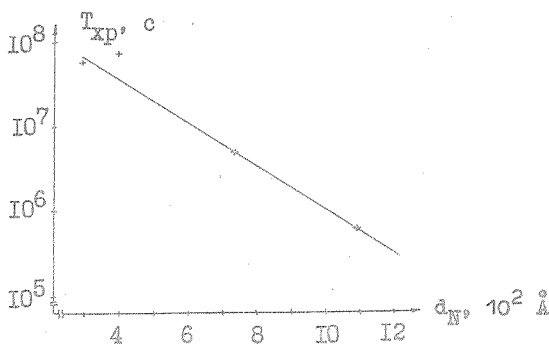
Время хранения заряда T_{xp} определялось по пересечению аппроксимированных кривых релаксации $U_{FB}(\lg t)$ с границами логического окна переключения.



Р и с. 1. Кривые релаксации захваченного заряда в МНОП-структурах с разными толщинами нитрида кремния $d_N = 300 \text{ \AA}$ (1); 400 \AA ; 750 \AA (3); 1100 \AA (4) после 10^6 циклов переключения

На рис. 1 представлены кривые релаксации положительного захваченного заряда в МНОП-конденсаторах с различной толщиной нитрида кремния после 10^6 циклов переключения. Следует отметить, что релаксация заряда на больших временах $t > 10^2$ с описывается зависимостью $U_{FB} \sim \lg t$ по крайней мере до 10^6 с.

На рис. 2 показана зависимость T_{xp} от толщины пленки нитрида кремния в МНОП-структуре. При увеличении толщины пленки d_N от 400 \AA до 1100 \AA величина T_{xp} уменьшается больше, чем в 10^2 раз. В области малых толщин $d_N < 400 \text{ \AA}$ зависимость $T_{xp}(d_N)$ становится менее резкой.



Р и с. 2. Зависимость времени хранения заряда T_{xp} от толщины нитрида кремния d_N .

Установлено, что у деградированных структур наблюдается слабая зависимость времени хранения заряда T_{xp} от величины начального накопленного заряда в диэлектрике.

Пусть t_0 - время, начиная с которого выполняется логарифмическая зависимость релаксации заряда захваченного в диэлектрике. В этом случае для времени хранения заряда можно записать: $\lg T_{xp} = \lg t_0 + U_{FB}(t_0)/r(t_0)$, где $r(t)$ - логарифмическая скорость релаксации заряда, определяемая выражением: $r(t) = -2,3t \partial U_{FB} / \partial t$. Если $\rho(x, t)$ - распределение заряда в объеме нитрида кремния, то для величины U_{FB} получим:

$$U_{FB} = (d_N/\epsilon_0 \epsilon_N) \int_0^{d_N} \rho(x, t)(1 - x/d_N) dx.$$

Влияние толщины нитрида кремния на время хранения заряда в МНОП-структуре определяется выражением:

$$\frac{\partial T_{xp}}{\partial d_N} = - \frac{T_{xp}}{t_0} \frac{\partial}{\partial d_N} \frac{\int_0^{d_N} \rho(x, t_0)(1 - x/d_N) dx}{\int_0^{d_N} \rho_t^*(x, t_0)(1 - x/d_N) dx}. \quad (I)$$

Используя определение центрады заряда в нитриде кремния

$$x(t) = \left(\int_0^{d_N} x \rho(x, t) dx \right) / \left(\int_0^{d_N} \rho(x, t) dx \right),$$

выражение (I) можно переписать в виде:

$$\frac{\partial T_{xp}}{\partial d_N} = \frac{T_{xp}}{d_N^2 t} \left[\frac{\int_0^{d_N} \rho(x, t) dx}{\int_0^{d_N} \rho_t^*(x, t)(1 - x/d_N) dx} \right]^2 \frac{\partial x}{\partial t}. \quad (2)$$

Для МНОП-структур, подвергшихся многократным переключениям, согласно рис. 2, время хранения заряда уменьшается с увеличением толщины диэлектрика. Как следует из (2), это означает, что механизм релаксации заряда таков, что $\partial x / \partial t < 0$, т.е. центрада заряда уменьшается при релаксации заряда у деградированных МНОП-структур.

Известно [2], что для недеградированных МНОП-структур релаксация заряда связана с обратным туннелированием захваченных носителей в полупроводник. При этом опустошение ловушек в диэлектрике определяется выражением

$$\rho(x, t) = \rho(x, 0) \theta[x - \lambda_N \ln(t/t_0)], \quad (3)$$

где λ_N и τ_0 - характерные длина и время обратного туннелирования, $\Theta(\eta)$ - ступенчатая функция: $\Theta(\eta > 0) = 1$, $\Theta(\eta < 0) = 0$.

Подставляя (3) с $\rho(x, 0) = \rho_0 \Theta(x_0 - x)$ в выражение (2), после интегрирования по x получим

$$T_{\text{зр}} = T_0 \exp(-x_0^2 / 2\lambda_N^2 \tau_0),$$

где $x_0 \sim (eN_t)^{-1}$ - характерная длина захвата в диэлектрике, b - сечение захвата, N_t - концентрация ловушек. Следовательно, если релаксация заряда определяется его обратным туннелированием в полупроводник, то время хранения накопленного заряда должно было бы увеличиваться с увеличением толщины диэлектрика, что не наблюдается у деградированных структур. Ранее было показано, что в объеме диэлектрика деградированных МНОП-структур на электронных и дырочных ловушках накапливаются скомпенсированные заряды электронов и дырок /3/. В этом случае под действием электрического поля, созданного избыточным зарядом, будет стекать часть скомпенсированного заряда. Выяснение деталей механизма релаксации заряда у деградированных структур требует дальнейших исследований.

Поступила в редакцию
10 ноября 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. С. Гинюккер, В. А. Колосанов, Г. П. Курьшев, МЭ, 5, 419 (1976).
2. L. Lundkvist, I. Lundström, C. Svensson, Sol.-St. Electr., 10, 811 (1973).
3. А. И. Агафонов, А. Ф. Плотников, В. Н. Селезнев, МЭ, 10, 127 (1981).