

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КИСЛОРОДА С ПОВЕРХНОСТЬЮ КРЕМНИЯ

*Ташкентский государственный технический университет им. А.Р. Беруни,
ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 700095, Узбекистан*

При изучении процесса окисления кремния возник интерес к адсорбционным–десорбционным явлениям на поверхности кремния. Как известно, если частицы на поверхности имеют энергию связи более 0,5 эВ, то их принято относить к химически адсорбированным, при меньших энергиях связи адсорбция считается физической.

Установлено, что на начальном этапе окисления вместо увеличения привеса наблюдается его уменьшение. Этот эффект связан с тем, что происходит активация десорбции частиц с поверхности кристалла.

Из анализа экспериментальных данных видно, что на начальном этапе окисления кремния в процессе участвуют как минимум три вида точечных дефектов. Их релаксацию можно представить в виде

$$\frac{dn_t}{dt} = -\alpha_1 \cdot n_1 \cdot n_t. \quad (1)$$

Интегрирование (1) дает экспоненту с постоянной времени τ_1 :

$$\tau_1 = \left[\frac{1}{\alpha_1 \cdot n_1} \right], \quad (2)$$

которая и определяет начальную стадию процесса релаксации. Здесь τ_1 – средняя по состояниям зоны проводимости вероятность захвата электрона, n_1 – концентрация электронов в зоне проводимости в том случае, когда положение уровня Ферми на поверхности совпадает с положением уровня центра захвата ε_t . Тогда n_1 можно выразить соотношением:

$$n_1 = N_c \cdot e^{-\left[\frac{\varepsilon_t}{kT} \right]}, \quad (3)$$

где N_c – эффективная плотность состояний в зоне проводимости, равная:

$$N_c = \left[\frac{(2 \cdot \pi \cdot m^* \cdot k \cdot T)^{1,5}}{4\pi^3 \cdot h^3} \right]. \quad (4)$$

Здесь m^* – эффективная масса $\approx 10^{-27}$ г; $h = 2\pi\hbar$ – постоянная Планка.

Эффективные концентрации плотности состояний в зонах при комнатной температуре для n -типа кремния равны:

$$N_c = 2,5 \cdot 10^{19} \cdot \left(\left[\frac{m_e^*}{m} \right] \right)^{1,5} \text{ см}^{-3} = 2,5 \cdot 10^{19} \cdot 1,1^{1,5} = 2,89 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3},$$

а для p -типа кремния

$$N_A = 2,5 \cdot 10^{19} \cdot \left(\left[\frac{m_p^*}{m} \right] \right)^{1,5} \text{ см}^{-3} = 2,5 \cdot 10^{19} \cdot 0,57^{1,5} = 1,08 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3},$$

где $\left[\frac{m_e^*}{m} \right] = 1,1$ и $\left[\frac{m_p^*}{m} \right] = 0,57$.

Можно считать, что τ_s – сечение захвата не зависит от температуры, тогда начальный момент концентрации поверхностных центров и временную релаксационную зависимость можно определить из уравнения

$$\frac{dn_i}{dt} = -\alpha_1 \cdot n_1 \cdot N_i. \quad (5)$$

Изменения концентрации избыточных точечных дефектов запишем в виде

$$\frac{dn_i}{dt} = -\alpha_1 \cdot n_1 \cdot D_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_i}{kT}}, \quad (6)$$

где, ε_i – энергия активации релаксационного процесса. С учетом величин Δn_i , получаемых из экспериментальных кинетических данных, концентрацию центра захвата вычислим из уравнения

$$\Delta n_i = \frac{dn_i}{dt} \cdot \tau_1 = N_i, \quad (7)$$

которое является общей формулой для отражения релаксационного процесса для точечных дефектов анионного типа (адсорбированных частиц):

$$\frac{dn_i}{dt} = -n_i \cdot \alpha_0 \cdot D_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_B}{kT}} = \frac{n_i}{\tau_B}, \quad (8)$$

здесь ε_B – энергия активации адсорбированных частиц; D_0 – предэкспоненциальный множитель коэффициента диффузии адсорбированных частиц; α_0 – коэффициент, связанный с толщиной слоя, в котором существуют объемный заряд и электрическое поле, искривляющее энергетические зоны характеризующие Дебаевской длиной:

$$L_D = \sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_0 \cdot k \cdot T}{e^2 \cdot n}}, \quad (9)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость полупроводника; $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная; e – заряд электрона; n – концентрация примесей в полупроводнике.

С учетом уравнения (9)

$$\alpha_0 = -\frac{\pi^2}{L_D^2}. \quad (10)$$

Из уравнения (8) получаем соотношение

$$\frac{1}{\tau_B} = \frac{\pi^2}{L_D^2} \cdot D_{OB} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_B}{kT}}. \quad (11)$$

Предэкспоненциальный множитель представим как

$$\frac{1}{\tau_{OB}} = \frac{\pi^2}{L_D^2} \cdot D_{OB} = \alpha_0 \cdot D_{OB}. \quad (12)$$

Подставляя (12) в уравнение (2), получаем соотношение:

$$\frac{1}{\tau_B} = \alpha_0 \cdot D_{OB} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_B}{kT}} = \frac{1}{\tau_{OB}} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_B}{kT}} \quad (13)$$

Из уравнения (13) следует выражение для коэффициента диффузии частиц:

$$D_B = D_{OB} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_B}{kT}} \quad (14)$$

По тангенсу угла наклона определим энергию активации десорбирующихся частиц (ε_B).

Таким образом, приведенные выше данные показывают реальную картину, происходящую в процессе взаимодействия кислорода с поверхностью кремния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литовченко В.Г. //Журнал “Новое в жизни, науке, технике”, сер. “Физика поверхности и микроэлектроники”, М., 1990. С.1 – 63.
2. Арсламбеков А.В., Сафаров А.С. // Микроэлектроника. 1980. Т. 9. Вып.1. С. 54 – 60.
3. А.С. № 1702822. Способ получения тонких пленок оксида кремния. Сафаров А.С. / 1991. (ДСП).

Поступила 29.04.03

Summary

Interaction between oxygen and the surface of silicon is analyzed.