

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РОСТА ДВУОКИСИ КРЕМНИЯ С УЧЕТОМ ПЕРВИЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИСЛОРОДА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКА

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

Приводятся данные по изучению взаимодействия поверхности кремния с кислородом в процессе его окисления в сухом кислороде. Определены условия, при которых возможно использование кинетики процесса термического окисления для изучения теории образования сверхтонких пленок кремния с учетом десорбируемых частиц на его поверхности. Предложено математическое уравнение для описания кинетики окисления реальной поверхности кремния в сухом кислороде с учетом десорбции частиц на поверхности кремния.

Экспериментальные исследования последних лет показали, что на начальной стадии окисления кремния происходят некоторые другие физико-химические процессы, которые необходимо учитывать для управления и изменения электрофизических свойств приборов, изготовленных на основе МОП – технологии.

Современные требования к этим приборам становятся особо жесткими, потому что при увеличении их чувствительности имеется возможность применения прецизионных методов измерения и контроля параметров базового образца. Это означает, что последующие поколения полупроводниковых приборов в процессе изготовления Si – SiO<sub>2</sub> структур с заданными параметрами требуют учета таких параметров, как зарядовое состояние [1–2].

С точки зрения теории кинетики окисления основной причиной нестабильности зарядовых состояний Si – SiO<sub>2</sub> структур является первичное образование окисного слоя кремния. На наш взгляд, в начальной стадии окисления надо учитывать не только процесс адсорбции, но и десорбции атомов из приповерхностного слоя полупроводника. Развивая идею, предложенную в работах [1, 3], на основе экспериментальных данных удалось вывести кинетические уравнения, описывающие рост оксида кремния в процессе термического окисления в виде

$$(Q+Q_0)^2 = 2Kt + 2A\tau_A \left(1 - e^{-t/\tau_A}\right) + 2B\tau_B \left(1 - e^{-t/\tau_B}\right) - 2B\tau_B \left(1 - e^{-t/\tau_B}\right) + Q_0^2, \quad (1)$$

$$G = -2B\tau_B \left(1 - e^{-t/\tau_B}\right), \quad (1a)$$

где  $Q$  – количество прореагировавшего кислорода за время  $t$ ;  $Q_0$  – количество кислорода, содержащегося в начальной пленке;  $K$  – параболическая константа скорости окисления;  $A$  и  $B$  – постоянные, характеризующие начальную неравновесную концентрацию точечных дефектов в анионной и катионной подрешетках соответственно;  $B$  – постоянные, характеризующие начальную десорбирующую концентрацию точечных дефектов;  $\tau_A$  и  $\tau_B$  – постоянные времена релаксации точечных дефектов кислорода и кремния в окисной пленке соответственно;  $\tau_B$  – постоянные времена, характеризующие десорбцию частиц.

Слагаемое в правой части уравнения (1), входящее с отрицательным знаком  $G$ , на наш взгляд, учитывает процесс десорбции атомов на поверхности полупроводника. Одновременность процессов адсорбции и десорбции приводит к квазиравновесному состоянию после истечения времени  $t_0$  с начала процесса окисления. Вследствие сложности механизмов окисления на начальной стадии процесса, наличия разных сопутствующих процессов на данной стадии эксперимента, необходимо использовать прецизионные неинерционные методы измерения. Поэтому использованный нами метод термомикрогравиметрического измерения дал возможность выделения слагаемого  $G$  в уравнении (1).

Благодаря автоматическому цифрорпечатающему блоку записи прецизионного измерения количество адсорбированных и десорбированных атомов подсчитывается каждые 30 секунд.

Анализ результирующей кинетической кривой, полученной из измерений, показывает наличие минимума при  $t = t_0$ , появление которого можно объяснить прохождением одного из следующих процессов. Первое – испарение подложки при одновременной адсорбции кислорода. Второе – испарение подложки при одновременной десорбции кислорода. Третье – десорбция и адсорбция кислорода, а также десорбция других примесей. Принимая во внимание возможности перечисленных процессов, составлена таблица, учитывающая молярные массы возможных соединений.

Адсорбированные частицы на поверхности подложки находятся в неравновесном состоянии. Предположим, что концентрация адсорбированных частиц на поверхности подложки равна  $G$ . При заданных условиях эксперимента в единицу времени десорбируется  $g_t$  частиц, а  $g_n$  – их начальное значение, то есть до начала окисления. Изменение во времени концентрации адсорбированных неравновесных частиц определяется уравнениями

$$\frac{dG}{dt} = g_n - g_t, \quad (2)$$

$$g_t = \frac{n_s - n_t}{\tau_g} = \frac{\Delta n}{\tau_g}. \quad (3)$$

Здесь  $n_t$  – число десорбированных частиц,  $\tau_g$  – постоянная времени релаксации десорбирующихся частиц,  $1/\tau_g$  – частота десорбции одной избыточной частицы,  $n_s$  – поверхностная концентрация частиц.

Пользуясь понятием времени жизни, уравнение (2) можно записать в виде

$$\frac{dG}{dt} = g_n - \frac{\Delta n}{\tau_g}. \quad (4)$$

Стационарная концентрация носителей заряда до окисления равняется

$$n = g_n \tau_g. \quad (5)$$

Величина  $\tau_g$  зависит от физических особенностей десорбции отдельных частиц. При этом  $\tau_g$  зависит от концентрации  $n$ , а также от температуры. Поэтому  $\tau_g$  не является характеристикой данного образца (кремния), а зависит и от условий режима окисления.

В случае, когда  $\tau_g$  можно считать феноменологической величиной, следует определить кинетику десорбционных процессов, и поэтому последующее интегрирование уравнения (4) дает

$$G = g_n \cdot \tau_g - C \cdot e^{-t/\tau_g}, \quad (6)$$

где  $C$  – постоянная интегрирования, определяемая начальными условиями.

Если в начале подложка находилась в термодинамическом равновесии, а затем в момент времени  $t$  изменили условия окисления, то начальные параметры находим для исходного состояния  $t = 0$ ,  $n = 0$ . Отсюда получим:

$$C = g_n \cdot \tau_g. \quad (7)$$

С учетом уравнения (7) зависимость (6) имеет следующий вид:

$$G = g_n \tau_g - g_n \tau_g e^{-\frac{t}{\tau_g}}, \quad (8)$$

$$G = g_n \tau_g \left( 1 - e^{-t/\tau_g} \right). \quad (9)$$

Из анализа экспериментальных данных имеем  $g = 2Б$ , и уравнение (9) можно записать в виде

$$G = 2Б\tau_g \left( 1 - e^{-t/\tau_g} \right). \quad (10)$$

Здесь  $Б$  – постоянная, характеризующая начальную неравновесную концентрацию десорбирующихся частиц.

Таким образом, впервые предложено уравнение для описания кинетики окисления реальной поверхности кремния в сухом кислороде с учетом десорбции частиц на поверхности кремния.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арсламбеков А.В., Сафаров А.С. // Микроэлектроника, М. 1980. Т.9. Вып.1. С. 54–60.
2. Сафаров А.С., Арсламбеков В.А. Механизм образования оксида кремния как функции концентрации примесей // Микроэлектроника. 1997. Т.26. Вып.1. С. 71–72.
3. Арсламбеков В.А. // Сб. “Проблемы физической химии поверхности полупроводников” / Под ред. чл. кор. АН СССР А.В. Ржанова. Новосибирск, 1978. С.107.

Поступила 29.04.03

### Summary

The data on interaction of silicon surface with dry oxygen are reported. The mathematical equation for the description of oxidation kinetics of silicon surface in the dry oxygen taking into account desorption of particles on the silicon surface is proposed.

М.К. Бахадирханов\*, Ш.Б. Ибрагимов\*, И.Р. Камолов\*\*

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СОСТОЯНИЯ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Au-n-InP СТРУКТУР

*\*Государственный технический университет им. Абу Райхана Беруни,  
ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 700095, Узбекистан  
\*\*Навоийский государственный горный институт*

Технология изготовления полупроводниковых приборов (металл–полупроводник, металл–окисел–полупроводник, полевых транзисторов с затвором Шоттки и др.) базируется на трех основных операциях: химическом травлении, фотолитографии и металлизации. Операция фотолитографии и режим ее проведения практически не зависят от особенностей полупроводника. В то же время химическое травление и режимы формирования металлических покрытий в значительной степени определяются физико-химическими свойствами самого полупроводника.

Анализируя приведенные ранее результаты исследований и данные других авторов, можно заключить, что характеристики контактов М-InP зависят от физико-химических свойств поверхности InP, которые в значительной степени определяются режимами ее предварительной обработки, влияющими на стехиометрию поверхности, толщину и фазовый состав собственных оксидов. Так как химическая обработка относится к способам воздействия, оказывающим наиболее выраженное влияние на состояние поверхности, то очевидно, что правильный выбор режимов ее проведения приобретает особое значение при разработке металлов формирования барьеров Шоттки с воспроизводимыми параметрами.

Влияние химической обработки на параметры барьеров Шоттки М-InP оценивалось по ВАХ и ВФХ контактов Au-n-InP(100) ( $S = 4 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$ ), сформированных методом термического напыления Au на подложки n-InP ( $N = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) при температуре 403–423 К. В качестве химических реагентов, оказывающих влияние на первоначальное состояние поверхности, использовались растворы, состав которых приведен в табл. 1, 2. Все подложки перед химической обработкой подвергались глубокому химическому травлению в растворе  $\text{Br}_2\text{CHCOOH}$ . После изготовления контакты подвергались искусственному старению путем их выдержки при  $T = 363:373 \text{ К}$  в течение 18 суток.

Влияние химической обработки на состояние поверхности n-InP оценивалось также по интенсивности краевой фотолюминесценции, возбуждаемой с помощью лазера ЛГ-106М ( $\lambda = 0,56 \text{ мкм}$ ) и данных лазерной эллипсометрии, проводимой на эллипсометре ЛЭМ-3М ( $\lambda = 0,632 \text{ мкм}$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ).