

OPPORTUNITY OF RESEARCH OF PROCESS OF OXIDATION OF STRUCTURES
SILICON ON AN INSULATOR IN AN ATMOSPHERE OF WATER DAMP AND AIR
OXYGEN BY SYNERGETIC METHOD

E.P.Prokopiev

The opportunity of synergetic approach to consideration of evolution of properties of structures silicon on an insulator (SOI structures) in an atmosphere of water damp and air oxygen under influence of an exchange with an environment streams of energy and substance is considered at oxidation. It is shown, that the most probable transitions of properties (formed thickness d_{ok} layer SiO_2 on a surface of silicon) are transitions to this or that stationary condition (transitions as « all or anything »). Nonequilibrium phase second sorts of changes of formed thickness of layers, in particular, concern to such transitions d_{ok} in SOI structures .

УДК 621.382:537.311.33:536.75

ВОЗМОЖНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ СТРУКТУР
КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ В АТМОСФЕРЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА И
КИСЛОРОДА СИНЕРГЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Е.П.Прокопьев^{1,2}

¹Московский государственный институт электронной техники (МИЭТ), Зеленоград,
проезд 4806, д. 5, 124498, Москва, Россия, e-mail: spt@chem.miee.ru

²ФГУП ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики
им. А.И.Алиханова, ул. Б.Черемушкинская,25, 117259, Москва, Россия,
e-mail: epprokopiev@mail.ru; (<http://www.prokopep.narod.ru>)

Рассмотрена возможность синергетического подхода к рассмотрению эволюции свойств структур кремний на изоляторе (структур КНИ) в атмосфере влажного воздуха и кислорода под влиянием обмена с окружающей средой потоками энергии и вещества при окислении. Показано, что наиболее вероятными переходами свойств (формируемых толщин d_{ok} слоя SiO_2 на поверхности кремния) являются переходы к тому или иному стационарному состоянию (переходы по типу «все или ничего»). К

таким переходам, в частности, относятся неравновесные фазовые второго рода изменений формируемых толщин слоев $d_{ок}$ в структурах КНИ.

Введение

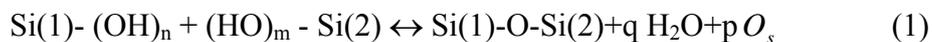
Научные основы материаловедения тесно связаны с рассмотрением свойств материалов как свойств нелинейных динамических систем, работающих вдали от равновесия. Как отмечает Пригожин [1], осознание этого факта уже само по себе представляет существенное продвижение в области науки о материалах. Действительно, взаимодействие с окружающей средой (обмен энергией, веществом) может приводить к сложным динамическим превращениям, приводящим к неустойчивостям, создающих переходы к множественным стационарным состояниям и пространственным структурам. Особый интерес этот постулат имеет для научных основ синтеза и эксплуатации материалов электронной техники, являющихся базой современной микроэлектроники и электронной промышленности. В работах [2-8] анализировались возможные синергетические подходы для квазихимических реакций в атмосфере дефектов собственных атомов кремния C_1 [3-7], примесных атомов бора и фосфора C_p [2] и формирования толщин слоя SiO_2 $d_{ок}$ [8]. Было показано, что наиболее вероятными переходами свойств (формируемых толщин $d_{ок}$ слоя SiO_2 на поверхности кремния, концентрации $C_{p,l}$ собственных и примесных атомов в кремнии) являются переходы к тому или иному стационарному состоянию (переходы по типу «все или ничего»). К таким переходам, в частности, относятся неравновесные фазовые переходы первого и второго рода изменений формируемых толщин слоев $d_{ок}$ и концентраций $C_{p,l}$. По-видимому, большинство процессов в атмосфере дефектов материалов при их синтезе и эксплуатации говорят о том, что эксплуатация материала сопряжена с далекими от равновесия условиями за порогом устойчивости термодинамической ветви [9-13]. Таким образом напрашивается мысль, что синтез качественных материалов электронной техники и оптимальные условия их эксплуатации связаны с серией последовательных неустойчивостей, аналогичных серии последовательных бифуркаций, которые приводят к состоянию атмосферы дефектов с определенной когерентностью. Этот вывод имеет фундаментальное значение для научных основ синтеза и эксплуатации материалов электронной техники. В данной работе рассматриваются возможные синергетические эффекты при производстве и эксплуатации структур КНИ, получаемых по smart-cut технологии посредством срачивания пластин кремния во влажных условиях (наличие в атмосфере добавочных

паров воды) (включая использование химической сборки поверхности методом молекулярного наслаивания) и в сухих условиях (отсутствие в атмосфере сращивания добавочных паров воды) [14,15,18,19].

Особенности smart-cut технологии

Технология прямого соединения пластин в сухих условиях состоит в сращивании двух окисленных поверхностей пластин кремния с заданными толщинами окисла SiO₂ на каждой из них. Первоначальной задачей является насыщение сращиваемых поверхностей OH-группами на атомах кремния. Каждый поверхностный атом кремния может присоединять одну или две OH-группы.

Приведем модифицированную теорию сращивания, основанную на предположении о возможности наличия различного среднего числа OH-групп на атоме кремния на поверхности сращиваемых пластин, получаемых с использованием химической сборки поверхности методом молекулярного наслаивания. Модель, развитая в [14,15], различает различные стадии процесса сращивания в зависимости от температуры отжига. Первая стадия описывает поведение процесса сращивания при температурах ниже 110⁰ С. На этой стадии пластины связываются через кластеры хемосорбированной воды. На второй стадии до температуры 150⁰ С силанольные группы реагируют на поверхности раздела по реакции



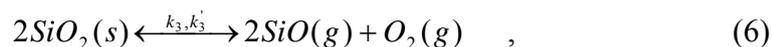
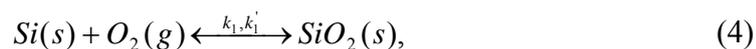
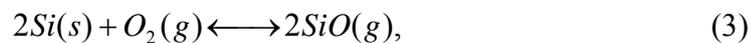
Здесь n и m - средние числа OH-групп, приходящие на 1 поверхностный атом кремния ($0 \leq n \leq 2$; $0 \leq m \leq 2$); Si(1) и Si(2) относятся к атомам кремния на поверхности двух пластин (1) и (2), соответственно. Индекс s означает вхождение атомов кислорода в каркас SiO₂ в местах сращивания. Отметим, что образующиеся молекулы воды диффундируют через каркас SiO₂ вдоль поверхности раздела наружу от пластин и перпендикулярно поверхности пластин через слой SiO₂, приводя к окислению кремния на границе разделов Si - SiO₂. Реакция (1) обратима до температуры $T \leq 425^0$ С. От 150 до 800⁰ С прочность связывания постоянна, если время отжига достаточно велико и ограничено размером контактирующего пространства. Выше 800⁰ С связывание пластин полностью осуществляется через слой окисла. Эффективная констаета скорости реакции (1) имеет вид

$$k = k_0 C_{\text{H}_2\text{O}}^q C_{\text{O}_s}^p, \quad (2)$$

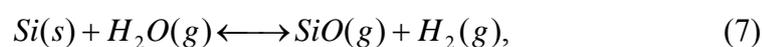
то есть k пропорциональна концентрации паров воды в атмосфере. Здесь k_0 в формуле (2) является «истинной» константой скорости реакции (1). Константа скорости k на основании экспериментов по определению энергии связывания методом вставки лезвия в атмосферу паров воды [16-19] оказалась заключенной в пределах от 5,9 до $6,1 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при атмосферном давлении P_0 и равной $4,6 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при $P = 10 \text{ Па}$ и $3,0 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при $P = 0,2 \text{ Па}$, что соответствует определенной зависимости k от влажности окружающей среды.

Процесс окисления кремния в структурах КНИ

При сращивании пластин кремния в атмосфере кислорода и паров воды следует учитывать наряду с процессами типа (1) процессы окисления ими поверхностей сращиваемых пластин. Процесс окисления кремния имеет фундаментальное значение в микроэлектронике [20]. Поэтому исследованиям этого процесса посвящено множество экспериментальных и теоретических работ. Установлено, что процесс окисления кремния в атмосфере кислорода и паров воды является сложным и многостадийным. В феноменологическом приближении, основанном на термодинамических расчетах, процессы окисления кислородом в пренебрежении диссоциативными реакциями кислорода характеризуется брутто-реакциями [20]



а процессы окисления кремния водяным паром в свою очередь





Как отмечается в [20], реакцией типа (3) можно пренебречь во всем интервале температур окисления (800 ÷ 1600 K) и давлениях кислорода вплоть до 10^{-9} атм, так как парциальное давление SiO ничтожно мало. Термодинамический анализ реакций (3)-(6) и экспериментальные исследования позволяют заключить, что при относительно низких температурах и достаточно высоких парциальных давлениях кислорода скорость образования двуокиси кремния по реакции (4) намного превышает скорость ее восстановления до монооксида, и на поверхности кремния образуется термодинамически стабильная пленка SiO_2 (кристаллическая или стеклообразная). При достаточно высоких температурах и низких парциальных давлениях кислорода скорость образования SiO по реакции (5) значительно превышает скорость образования SiO_2 по реакции (4). В этом случае SiO отводится от поверхности окисления в газовую фазу, а пленка SiO_2 не растет вовсе, то есть наблюдается активная фаза процесса окисления. Выделяющийся газ SiO окисляется на поверхности по реакции (6). Если на поверхности выращен толстый слой SiO_2 , а затем образец нагрет до высоких температур в вакууме, то по реакции (6) SiO_2 диссоциирует на SiO и O_2 со скоростью, определяемой скоростью газофазного переноса молекул SiO и O_2 от реакционной поверхности раздела. Таким образом, концентрация SiO_2 в системе $Si - SiO_2 - SiO - O_2$ испытывает осцилляции.

В монографии [20] показано, что при окислении кремния в парах воды или в смеси паров воды с кислородом, воздухом и с каким-либо инертным газом реакцией (7) непосредственного окисления кремния до монооксида по уравнению (7) в хорошем приближении можно пренебречь. Из реакции (10) следует, что, когда парциальное давление водорода, образующегося по реакциям (7), (8), у реакционной поверхности

раздела мало по сравнению с давлением окислителя, то относительная концентрация монооксида кремния в системе $SiO_2 - SiO - Si - H_2O$ во всем рассматриваемом диапазоне температур на много порядков ниже относительной концентрации двуоксида.

Если в качестве газа-носителя используется водород, содержащий менее 10^{-4} % паров воды, то скорость реакции окисления кремния до монооксида в диапазоне температур выше $1400^{\circ}C$ будет превышать скорость образования SiO_2 по реакции (8), так, что процесс образования пленки диоксида кремния на поверхности исходного материала будет исключен и вновь будет наблюдаться активная фаза процесса окисления. Если на поверхности кремния уже имелась достаточно толстая пленка SiO_2 , а затем образцы были подвергнуты обработке в указанных выше условиях, пленка SiO_2 будет травиться со скоростью, определяемой скоростью отвода продуктов реакции от реакционной поверхности раздела.

В реальных условиях экспериментов активную фазу окисления можно получить и при значительно больших парциальных давлениях паров воды. При этом необходимо учитывать реакцию восстановления SiO_2 до SiO по уравнению (9). Если содержание паров воды в атмосфере реакционной камеры таково, что скорость образования SiO_2 значительно меньше скорости отвода SiO от реакционной поверхности раздела, то поверхность исходного материала будет оставаться неоxygenной, а значит механизм процесса окисления будет соответствовать протеканию активной фазы. В монографии [20] на основании термодинамических расчетов указывается, что при температурах порядка $1400 - 1600$ К активная фаза процесса окисления кремния будет наблюдаться уже при достаточно высоких давлениях паров воды, что в свою очередь позволяет получить соответственно высокие скорости окисления.

Синергетический подход к процессу окисления

В этой связи интересно рассмотреть практически важный случай процесса окисления кремния, протекающего вдали от термодинамического равновесия, когда исходные продукты (Si и O_2) и H_2O «подводятся», а продукты реакции (например, SiO и H_2) «отводятся». Покажем ниже, что в этом случае к процессу окисления кремния в атмосфере кислорода возможен синергетический подход [1,9-13].

Допустим, что концентрации атомов Si и молекул SiO , H_2 и O_2 и константы скоростей k_j и k'_j поддерживаются постоянными. Обозначим концентрации этих

реагентов $[Si] \equiv a, [H_2O] \equiv e, [O_2] \equiv b, [SiO_2] \equiv n, [SiO] \equiv c, [H_2] \equiv d$. Согласно

(4)-(6), (7)-(9) скорости реакций r_j и r_{jw} могут быть записаны в виде

$$r_1 = k_1[Si(s)][O_2(g)] - k_1'[SiO_2(s)] = k_1ab - k_1'n, \quad (11)$$

$$r_2 = k_2[Si(s)][SiO_2(s)] - k_2'[SiO(g)]^2 = k_2an - k_2'c^2, \quad (12)$$

$$r_3 = k_3[SiO_2(s)]^2 - k_3'[SiO(g)]^2[O_2(g)] = k_3n^2 - k_3'bc^2, \quad (13)$$

$$r_{1w} = k_{1w}[Si(s)][H_2O(g)]^2 - k_{1w}'[SiO_2(s)][H_2(g)]^2 = k_{1w}ae^2 - k_{1w}'bd^2, \quad (15)$$

$$r_{2w} = k_{2w}[Si(s)][SiO_2(s)] - k_{2w}'[SiO(g)]^2 = k_{2w}an - k_{2w}'c^2, \quad (16)$$

$$r_{3w} = k_{3w}[SiO_2(s)][H_2(g)] - k_{3w}'[SiO(g)][H_2O(g)] = k_{3w}nd - k_{3w}'ce, \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \dot{n}_o &= r_1 + r_2 + r_3 = k_1ab - k_1'n + k_2an - k_2'c^2 + k_3n^2 - k_3'bc^2 = \\ &= k_3n^2 - (k_1' - k_2a)n - (k_2'c^2 + k_3'bc^2 - k_1ab) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \dot{n}_w &= r_{1w} + r_{2w} + r_{3w} = k_{1w}ae^2 - k_{1w}'bd^2 + k_{2w}an - k_{2w}'c^2 + k_{3w}nd - k_{3w}'ce = \\ &= (k_{2w}a + k_{3w}d) + (k_{1w}ae^2 - k_{1w}'bd^2 - k_{2w}'c^2 - k_{3w}'ce) \end{aligned} \quad (19)$$

Согласно (4)-(6) и (7)-(9) полное изменение $n \equiv [SiO_2(s)]$ во времени $dn/dt = \dot{n} = \dot{n}_o + \dot{n}_w$ равно сумме полных скоростей реакций $r_1, r_2, r_3, r_{1w}, r_{2w}, r_{3w}$, так что

$$\begin{aligned} \dot{n} = \dot{n}_o + \dot{n}_w &= k_3n^2 - (k_1' - k_2a - k_3w d - k_2a)n - [(k_2'c^2 + k_3'bc^2 - k_1ab) + \\ &+ (k_{1w}ae^2 - k_{1w}'bd^2 - k_{2w}'c^2 - k_{3w}'ce)] \end{aligned} \quad (20)$$

Изменяя в (19) соответствующим формальным образом единицы измерения времени и концентрации

$$\begin{aligned} k_3 &= 1, k_1' - k_2wa - k_3wd = 1; \quad k_2a = \beta; \\ \gamma &= \left[(k_2'c^2 + k_3'bc^2 - k_1ab) + (k_{1w}ae^2 - k_{1w}'bd^2 - k_{2w}'c^2 - k_{3w}'ce) \right], \end{aligned} \quad (21)$$

можно записать

$$\dot{n} = n^2 - (1 - \beta)n - \gamma; \quad (22)$$

В выражениях (21), (22) параметр β является так называемым определяющим (контролирующим) параметром, а γ является неким кинетическим параметром. Они определяют собой параметр порядка n (см., например, [9-13]).

Для случая $\gamma = 0$ и стационарного состояния $\dot{n} = 0$ имеем решения $n_1 = 0; n_2 = 1 - \beta$, так что

$$n = \begin{cases} 0 & \text{для } \beta > 1 \\ 1 - \beta & \text{для } \beta < 1 \end{cases}, \quad (23)$$

ибо в (23) отрицательные значения решения n естественно не имеют физического смысла. Из выражения (23) следует, что при $\beta > 1$ молекулы SiO_2 отсутствуют, а при $\beta < 1$ поддерживается постоянная концентрация SiO_2 . Этот переход из состояния «есть молекулы SiO_2 » в состояние «нет молекул SiO_2 » при варьировании β похож на фазовый переход. Как и в [9,10], можно провести аналогию с уравнением ферромагнетизма, записав (22) при $\dot{n} = 0$ в виде

$$\gamma = n^2 - (1 - \beta)n, \quad (24)$$

где отчетливо видны соответствия $M \longleftrightarrow n, H \longleftrightarrow \gamma, T/T_k \longleftrightarrow \beta$ в

$$H = M^2 - (1 - T/T_k)M, \quad (25)$$

где M - намагниченность, H - магнитное поле, T - абсолютная температура, T_k - критическая температура.

Теперь проведем изучение временной эволюции, следуя общепринятым методам [9,10]. В случае $\gamma = 0$ задачу можно свести к решению уравнения

$$\dot{n} = -(\beta - 1)n - n^2 \quad (26)$$

При начальных условиях

$$t = 0, n = n_0, \quad (27)$$

решение уравнения (17) имеет вид

$$n = n_0(1 + tn_0)^{-1}, \quad (28)$$

так что n асимптотически приближается к нулю.

В случае $\beta \neq 1$. Решение (26) с учетом (27) имеет вид

$$n = \frac{1-\beta}{2} - \frac{\lambda}{2} \frac{C \exp(-\lambda t) - 1}{C \exp(-\lambda t) + 1}, \quad (29)$$

где

$$C = \frac{|1-\beta| + (1-\beta) - 2n_0}{|1-\beta| + (1-\beta) + 2n_0}, \quad (30)$$

а

$$\lambda = |1-\beta|. \quad (31)$$

Видим, что при $t \rightarrow \infty$ решение уравнения (28) стремится к равновесным значениям вида (23).

Теперь рассмотрим случай $\gamma \neq 0$ в (26). В этом случае его решение с учетом (27) имеет такой же вид, как и в (29). Но в этом случае коэффициент λ равен

$$\lambda = \sqrt{(1-\beta)^2 + 4\gamma}, \quad (32)$$

а C дается выражением типа (30). Из (29) и (32) следует, что концентрация n монотонно стремится к равновесному значению, а ее осцилляции отсутствуют. Проведем вкратце обсуждение полученных результатов. Посмотрим, что означает в нашем случае равенство $\gamma = 0$, представляющего равенство нулю семи слагаемых в (21) (Отметим, что случай $\gamma = 0$ может реализоваться и при отличных от нуля слагаемых, когда они взаимно компенсируют друг друга. Но этот случай здесь не рассматривается). Равенства $k'_3 bc^2 = 0$, $k'_2 c = 0$ и $k'_{1w} bd^2 = 0, k'_{2w} c^2 = 0, k'_{3ww} ce = 0$ означают необратимость реакций (5), (6) и (8), (9), (10), а равенства $k_1 ab = 0$, $k_{1w} ac^2 = 0$ означают отсутствие реакций (4), (8). Это может случиться либо при очень низких температурах, либо в условиях изоляции системы от атмосферы кислорода, так что $[O_2(g)] \equiv b = 0$ и очень быстрого отвода. SiO Согласно (24), слой окисла SiO_2 на поверхности кремния может претерпевать неравновесный фазовый переход типа (23): либо $[SiO_2(s)] \equiv n = 0$ для $\beta > 1$ (активная фаза окисления) [20], либо $[SiO_2(s)] \equiv n = (1-\beta)$ для $\beta < 1$ (пассивная фаза окисления кремния [20]). Из (21) нетрудно видеть, что этот переход определяется величиной константы скорости k_2 прямой реакции (5), так как концентрацию кремния можно считать постоянной

($[Si(s)] \equiv a = const$) ввиду большого избытка. Величина k_2 существенно зависит от температуры. Таким образом, в определенном температурном интервале слой окисла SiO_2 на поверхности кремния либо может исчезать вовсе $|\beta > 1, n = 0|$, либо утончатся до величины $(1 - \beta)$ для случая $\beta < 1$. Временная эволюция $n(t)$ (см. выражение (29)) также подтверждает этот практически важный вывод синергетического подхода к проблеме окисления кремния в атмосфере влажного воздуха и кислорода. Временная эволюция $n(t)$ при $\gamma \neq 0$, также подтверждает наличие изменения $[SiO_2(s)] \equiv n$, когда толщина слоя SiO_2 стремится к равновесному значению $[(1 - \beta)/2 + \lambda/2]$, а осцилляции n отсутствуют (см. выражения (29) и (32)). Этот случай не что иное как обычная пассивная фаза окисления кремния в открытой системе кремний-кислород, наблюдаемая в условиях отсутствия термодинамического равновесия [20].

Таким образом, предлагаемый синергетический подход к проблеме окисления кремния в атмосфере влажного кислорода и воздуха позволяет сделать следующие выводы: 1) В условиях изоляции системы от атмосферы влажного кислорода и воздуха, когда подводимым реагентом можно считать кремний $Si(s)$, а отводимыми - $SiO(g)$ и $O_2(g)$, в зависимости от величины параметра β слой окисла $[SiO_2(s)] \equiv n$ либо может исчезнуть вовсе ($n = 0$), либо утончится до некоторой постоянной величины ($n = const$); 2) В случае открытой системы, когда подводимыми реагентами являются кремний $Si(s)$, кислород $O_2(g)$ и водяной пар $H_2O(g)$, а отводимым – моноокись кремния $SiO(g)$ и водород $H_2(g)$, толщина слоя окисла $[SiO_2(s)]$ стремится к равновесному значению, а осцилляции $[SiO_2(s)] \equiv n$ отсутствуют. Эти обстоятельства должны учитываться при производстве и эксплуатации устройств и приборов микроэлектроники, включающих в свой состав двуокись кремния (например, структур КНИ, для которых в рамках синергетического подхода предсказываются возможные изменения толщин $d_{ок}$ слоев двуокиси кремния (SiO_2) на границе двух срачиваемых пластин в условиях неравновесных процессов различных внешних воздействий, рассмотренных нами выше.

Особое значение приобретают в связи с этим экспериментальные исследования синергетических эффектов при синтезе и эксплуатации этих технически важных материалов самыми различными физическими и химическими методами. Пожалуй, это передний край развития и применений экспериментальных методов современного материаловедения.

Литература

1. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М.: Мир, 1990. 342 с. Гл. 6.
2. Прокопьев Е.П. Возможные химические реакции для случая неравновесных фазовых переходов в атмосфере дефектов кремния // Физика и химия обработки материалов. 1992. № 4. С. 107 - 111.
3. Прокопьев Е.П. О возможности синергетического подхода к эволюции свойств технически важных материалов // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18, вып. 21. С. 80 - 84.
4. Прокопьев Е.П. Возможность самоорганизации в атмосфере собственных дефектов кремния // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1993. Т. 36, № 11. С. 22 - 25.
5. Прокопьев Е.П. Неравновесные фазовые переходы в квазихимических реакциях в ансамблях дефектов кремния в процессе ионной имплантации // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1994. Т. 37, № 7-9. С. 18 - 22.
6. Прокопьев Е.П. О возможности неравновесных фазовых переходов в атмосфере собственных дефектов кремния при протекании квазихимических реакций // Высокочистые вещества. 1995. № 5. С. 24 - 29.

7. Прокопьев Е.П. Модель неравновесных фазовых переходов в системе радиационных дефектов кремния и германия // Химическая физика. 1996. Т. 15, № 10. С. 107 - 111.
8. Прокопьев Е.П. Феноменологическая модель эволюции свойств пленок SiO₂ на поверхности кремния // Журнал прикладной химии. 1993. Т. 66, № 76. С. 1242 - 1245.
9. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 517 с.
10. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
11. Schlögl F. Chemical reactions models for non-equilibration phase models // Zs. Phys. 1972. V.253. № 1. P.147-161.
12. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Мир, 1985. 342 с.
13. Полак Л.С., Михайлов А.С. Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах. М.: Наука, 1983. 288 с.
14. А.Л.Суворов, В.И.Графутин, А.Г.Залужный, М.А.Козодаев, Е.П.Прокопьев, Б.Ю.Шарков, Ю.А.Чаплыгин, С.П.Тимошенков, В.Ф.Реутов // Атомная энергия. 2001. Т.91. Вып.4. С.255-263.
15. В.И.Графутин, А.Г.Залужный, В.В.Калугин, Е.П.Прокопьев, В.Ф.Реутов, А.Л.Суворов, С.П.Тимошенков, Б.Ю.Шарков. Физико-химические основы получения структур кремний на изоляторе с использованием метода газового скалывания. Перспективные материалы. 2002. №3. С.5-12. (D\1Обзор Перспект Матер1.doc).
16. Tong Q.-Y., Gösele U. Semiconductor Wafer Bonding: Science, Technology. Wiley, New York. 1998. 326 p.
17. Прокопьев Е.П., Тимошенков С.П. Возможность прямого соединения пластин кремния с использованием химической сборки поверхности методом молекулярного наслаивания // Материаловедение. 1999. №4. С.49-51.
18. Е.П.Прокопьев, С.П.Тимошенков. К вопросу определения энергии связи прямого соединения пластин кремния методом генерации (вскрытия) трещины между поверхностями сращивания// Материаловедение. 2000. №8. С.25-28.
19. Е.П.Прокопьев, С.П.Тимошенков. Определение энергии связи прямого соединения пластин кремния методом генерации трещины между поверхностями сращивания // Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России. 1999. №3. С.45-49.

20. Колобов Н.А., Самохвалов М.М. Диффузия и окисление полупроводников. М.:
Металлургия, 1975. С.228-233.

THE POSSIBLE SYNERGETIC APPROACHS FOR INVESTIGATIONS OF EVOLUTION
PROPERTIES OF SILICON STRUCTURES ON INSULATOR

E.P.Prokop'ev

Abstracts

We considered possibilities of synergetic approach for studies evolution of SOI structure properties with influence of streams of energy, substances and information in oxidation process and of appearance of new amorphous phase.

OPPORTUNITY OF RESEARCH OF PROCESS OF OXIDATION OF STRUCTURES
SILICON ON AN INSULATOR IN AN ATMOSPHERE OF DAMP AIR AND OXYGEN
BY SYNERGETIC METHODS

The opportunity of synergetic approach to consideration of evolution of properties of structures silicon on an insulator (SOI structures) in an atmosphere of water damp and air oxygen under influence of an exchange with an environment streams of energy and substance is considered at oxidation. It is shown, that the most probable transitions of properties (formed thickness d_{ok} layer SiO_2 on a surface of silicon) are transitions to this or that stationary

condition (transitions as « all or anything »). Nonequilibrium phase second sorts of changes of formed thickness of layers, in particular, concern to such transitions d_{ok} in SOI structures .