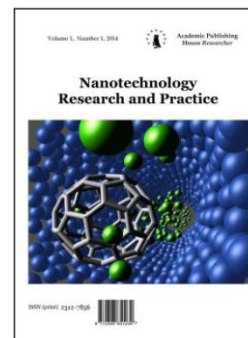


Copyright © 2014 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
Nanotechnology Research and Practice
Has been issued since 2014.
ISSN: 2312-7856
Vol. 1, No. 1, pp. 27-29, 2014

DOI: 10.13187/issn.2312-7856
www.ejournal13.com



UDC 539

Study of Possible Synergetic Effects in Microelectromechanical Systems on the Basis of Silicon-on-insulator Structures

¹V.I. Grafutin
¹E.P. Prokop'ev
²S.P. Timoshenkov

¹NRC "Kurchatov Institute", FGBI "ITEP", Russian Federation
E-mail: eppropkiev@mail.ru

²National Research University "MIET", Russian Federation
E-mail: spt@chem.miee.ru

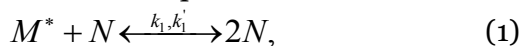
Abstract. The article studies the possibility of the existence of synergetic effects while considering the evolution of silicon properties and silicon-based materials, used in electronic material science, concerned with the appearance of energy flow and the material of a new phase (amorphous or crystal) disturbing its major properties, under the influence of the exchange with the environment.

Keywords: synergetic effects; electronic material science; silicon; energy flows exchange; appearance of a new phase in silicon and silicon-based materials, disturbing its major properties.

Введение. Ниже рассмотрена возможность наличия синергетических эффектов при рассмотрении эволюции свойств материалов, используемых в электронном материаловедении, связанные с появлением в материале под влиянием обмена с окружающей средой потоками энергии и вещества некоей новой фазы (аморфной или кристаллической), нарушающей его основные свойства (например, прочностные и электрические, как в случае тонких эпитаксиальных слоев кремния и структур кремний на изоляторе (КНИ)), связанные с переходами типа кристалл ↔ аморфная фаза. Предложена модель такого перехода кристалл ↔ стекло (аморфная фаза) в пленках SiO₂ в структурах КНИ. Рассматривается идеальная система Si-SiO₂-Si, в слое которой равномерно распределены центры кристаллизации, возникающие в аморфной фазе SiO₂ в процессах термического воздействия. Предполагается, что примеси металлов и область пространственного заряда в пленке SiO₂ не оказывают при этом влияния на переходы кристалл ↔ аморфная фаза.

Первоначальным состоянием пленок SiO₂, получаемых при высоких температурах, является метастабильное стеклообразное (аморфное) состояние. Предполагается, что в процессе производства и эксплуатации структур КНИ при высоких температурах и воздействии энергетических потоков генерируются активные реакционноспособные молекулы SiO₂^{*}. Именно переходы типа SiO₂^{*}-SiO_{2кр} обуславливают переход аморфной фазы в кристаллическую. Здесь SiO_{2кр} - символ молекул SiO₂ в кристаллической фазе. Решающее предположение взаимодействия между активными молекулами SiO₂^{*} и SiO_{2кр} состоит в том, что при взаимодействии с энергетическими потоками наряду с простыми переходами

$\text{SiO}_{2\text{кр}} \leftrightarrow \text{SiO}_{2\text{р}}$ еще возможны переходы, включающие автокаталитическую стадию: $\text{SiO}_2^* + \text{SiO}_{2\text{кр}} \leftrightarrow 2\text{SiO}_{2\text{кр}}$. Здесь $\text{SiO}_{2\text{р}}$ - символ “пассивных” молекул SiO_2 аморфной фазы. Эти процессы переходов с учетом обозначений $\text{SiO}_2^* \equiv \text{M}^*$, $\text{SiO}_{2\text{кр}} \equiv \text{N}$, $\text{SiO}_{2\text{р}} \equiv \text{M}$ можно охарактеризовать при определенных условиях гомогенности и изотермичности схемами квазихимических реакций Шлегля



Далее будем полагать, что M^* , N и M являются средними концентрациями ингредиентов, а k_i - соответствующие константы скоростей реакций типа (1),(2). Используя известные синергетические методы, можно показать, что N может совершать переходы по принципу «все или ничего» типа неравновесных фазовых переходов второго рода [1-4].

Отметим, что, согласно [3], при высоких температурах термообработки ($T \geq 1100^\circ\text{C}$) в структурах КНИ состояние производимого слоя SiO_2 является стеклообразным (аморфным). При этом в слое SiO_2 всегда имеются некие дефекты структуры, представляющие собой центры кристаллизации (вероятнее всего, кристобаллиты). В процессах производства и эксплуатации при перегревах и термообработках и действии энергетических потоков (даже при низких температурах) протекает процесс кристаллизации SiO_2 (переход кристалл \leftrightarrow стекло). Частичная кристаллизация в слое SiO_2 приводит к растрескиванию структуры слоя, вследствие чего образуются трещины и поры, заполняемые примесями металлов, приводящими к пробою структур КНИ. В этом случае структура КНИ может выйти из строя. Предложенное нами описание эволюции свойств слоя SiO_2 с использованием синергетического подхода позволяет на качественном уровне рассматривать переходы кристалл \leftrightarrow стекло при воздействии энергетических потоков при низких температурах (то есть при обычных условиях эксплуатации). Как уже отмечали, этот переход из состояния “нет молекул $\text{SiO}_{2\text{кр}}$ ” в состояние “есть молекулы сорта $\text{SiO}_{2\text{кр}}$ ” при изменении константы скорости k_2 в уравнении (2) представляет собой неравновесный фазовый переход второго рода [1-3]. Отсюда на основании предложенной феноменологической модели с использованием синергетического подхода к эволюции свойств структур КНИ можно сделать вывод о том, что имеется некий оптимальный режим их эксплуатации. При котором пленка SiO_2 является полностью аморфной.

Закключение. Таким образом, фаза кристаллического материала $\text{N} \equiv \text{SiO}_{2\text{кр}}$ электронной техники (структуры КНИ), нарушающая, например, свойства аморфного материала $\text{M} \equiv \text{SiO}_{2\text{р}}$, под влиянием внешних воздействий (потоки энергии, вещества) может претерпевать сложные динамические превращения, приводящие к пространственным структурам, образуемой кристаллической фазой. При этом естественно могут нарушаться прочностные и электрические свойства материалов, используемых в электронной технике (в нашем случае структур КНИ).

Примечания:

1. Хакен Г. Синергетика (Мир, М.) (1980).
2. Schlögl F. Zs. Phys. 253 (1972) 147.
3. Прокопьев Е.П. Журнал прикладной химии 66 (1993) 1242.
4. Прокопьев Е.П. Синергетические подходы к проблемам эволюции свойств материалов и наноматериалов на основе кремния. Обзор // Современные материалы и технологии. 2012. № 4; URL: <http://mmt.esrae.ru/186-810> (дата обращения: 20.06.2012). <http://mmt.esrae.ru/186-810>

References:

1. Khaken G. Sinergetika (Mir, M.) (1980).
2. Schlögl F. Zs. Phys. 253 (1972) 147.
3. Prokop'ev E.P. Zhurnal prikladnoi khimii 66 (1993) 1242.

4. Prokop'ev E.P. Sinergeticheskie podkhody k problemam evolyutsii svoistv materialov i nanomaterialov na osnove kremniya. Obzor // Sovremennye materialy i tekhnologii. 2012. № 4; URL: <http://mmt.esrae.ru/186-810> (data obrashcheniya: 20.06.2012). <http://mmt.esrae.ru/186-810>

УДК 539

Изучение возможных синергетических эффектов в МЭМС на основе структур КНИ

¹В.И. Графутин

¹Е.П. Прокопьев

²С.П. Тимошенко

¹НИИЦ «Курчатовский институт», ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ»

E-mail: eprokopiev@mail.ru

²Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Россия, Зеленоград

E-mail: spt@chem.miee.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность наличия синергетических эффектов при рассмотрении эволюции свойств материалов, используемых в электронном материаловедении, связанные с появлением в материале под влиянием обмена с окружающей средой потоками энергии и вещества некоей новой фазы (аморфной или кристаллической), нарушающей его основные свойства.

Ключевые слова: Синергетические эффекты; электронное материаловедение; обмен потоками энергии; возникновение новой фазы в материале; нарушающей его основные свойства.