

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Хожиева Шерали Тешаевича «Процессы распада и механизмы образования кластеров при ионном распылении» на соискание учёной степени доктора физико-математических наук (DSc) по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника».

Диссертационная работа Ш.Т. Хожиева посвящена качественному определению механизма образования и эмиссии кластеров при ионном распылении поверхностей с учётом существенно неравновесной природы данного процесса. С широким развитием в настоящее время исследований природы, свойств и методов генерации кластеров, представляющих значительный интерес с точки зрения как их всё более широкого применения в современных ионных технологиях, включая ВИМС, так и для создания принципиально новых материалов. Качественное определение механизма образования распыленных кластеров при ионной бомбардировке представляет собой актуальную проблему, как физической электроники, так и нанотехнологий и современного материаловедения в целом. Среди методов генерации кластеров особое место занимает ионное распыление, позволяющее синтезировать структуры различного размера и состава. Исследования кластерного распыления проводятся в мире на протяжении длительного времени, и особое место здесь занимают результаты, полученные ташкентской школой Института ионно-плазменных и лазерных технологий Академии Наук Узбекистана.

Автором диссертационной работы проведены в одинаковых условиях экспериментов исследования эмиссии и фрагментации кластеров  $Si_n^+$ ,  $V_n^+$  ( $n=5-11$ ) и  $Nb_n^+$  ( $n=3-8$ ), распыленных с соответствующих поверхностей близкими по массе атомарными ионами  $He^+$  а также распыленных кластеров  $V_nO_m^\pm$ ,  $Nb_nO_m^\pm$  и  $Y_n^+$ ; сделаны следующие важнейшие выводы: для основных направлений фрагментации распыленных кластеров  $Si_n^+$  ( $n=4-10$ ) на основе выполненных измерений спектров кинетических энергий осколочных ионов определены с использованием классической теории РПК энергии диссоциации  $V_n^+$  ( $n=5-11$ ) и  $Nb_n^+$  ( $n=3-8$ ) указанных кластеров; оценены времена жизни распадающихся кластеров  $Si_n^+$  в зависимости от их энергии возбуждения; установлено на основе зависимостей выходов гомоядерных кластеров кремния  $Si_n^+$  с  $n=1-11$  от давления кислорода вблизи бомбардируемой поверхности и закономерностей их мономолекулярного распада, что каналы образования кластеров  $Si_n^+$  могут рассматриваться как конкретные виды квазихимических реакций в рамках синергетических представлений; установлено на основе зависимостей выходов гетероядерных кластеров  $Si_nO_m^\pm$  от давления кислорода вблизи бомбардируемой поверхности и закономерностей их мономолекулярного распада, что каналы образования  $Si_nO_m^\pm$  могут рассматриваться как конкретные виды квазихимических реакций в рамках синергетических представлений; показана идентичность спектров кинетических энергий распыленных кластерных ионов  $Si_nO_m^-$  при бомбардировке кремния ионами  $O_2^+$  и ионами  $He^+$  с напуском кислорода;

разработана в рамках синергетических представлений теоретическая модель образования гетероядерных кластеров при ионном распылении с учетом комбинаторной природы процесса;

показано по результатам изучения распадов по всем возможным каналам распыленных кластеров  $V_nO_m^\pm$  и  $Nb_nO_m^\pm$ , образованных при бомбардировке ванадия и ниобия пучками  $He^+$  и напуске  $O_2$ , что процессы их образования описываются комбинаторным механизмом;

показано, что распределение кластеров  $Y_n^+$  распыленных с поверхности  $Y$  ионами  $He^+$ , аппроксимируется степенным законом, а реакции их образования можно описать в рамках механизма комбинаторного синтеза;

на основании анализа и обобщения всех результатов работы сделан вывод о том, что механизм образования и эмиссии кластеров при ионном распылении поверхностей может



быть описан в рамках синергетических представлений о природе процесса, а основные каналы их образования могут быть определены в рамках комбинаторного описания.

Следует отметить также приведённые результаты теоретических исследований образования и распадов кластерных частиц с позиций современных представлений физики неравновесных процессов. В этой связи особый интерес представляет разработанный Ш.Т. Хожиевым с соавторами предложенный механизм, позволяющий описать процессы образования кластеров в рамках синергетических представлений о процессах кластерообразования, оценить возможность описания каналов формирования кластеров описываемых механизмом комбинаторного синтеза, как конкретных видов квазихимических реакций.

В целом, полученные автором результаты являются новыми, оригинальными и представляют большой научный и практический интерес. Основное содержание диссертации отражено в 34 научных трудах, из них одна монография, 12 научных статей.

По объёму и качеству представленных материалов работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.04 - "Физическая электроника". Автор Хожиев Шерали Тешаевич, несомненно, достоин присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Профессор кафедры электроники твердого тела Санкт-Петербургского государственного университета, доктор физико-математических наук (шифр специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния)

09 декабря 2024 г.

Комолов Алексей Сергеевич

Контактные данные:

Адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, СПбГУ, кафедра электроники твердого тела,

Университетская наб. д.7/9

Телефон: +7 (812) 428 45 38

email: a.komolov@spbu.ru

Личную подпись Комолова Алексея Сергеевича удостоверяю

И.о. начальника  
отдела кадров № 3  
И.И. Константинова

*Комолов*  
*09.12.2024*



Текст документа размещен  
в открытом доступе  
на сайте СПбГУ по адресу  
<http://spbu.ru/science/...>