

### Отзыв

на автореферат диссертации Ю.Г. Юшкова на тему  
**"ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ НАНЕСЕНИЕ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ  
ФОРВАКУУМНЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ"**,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по  
специальности 01.04.04 – Физическая электроника

Актуальность темы данных исследований определяется практической значимостью технологий модификации поверхностей деталей и устройств, функционирующих в условиях интенсивных различных воздействий. Это стимулирует проведение широких научных исследований, направленных на разработку оборудования, необходимого для реализации соответствующих технологических процессов, а также изучение этих процессов, свойств и характеристик полученных поверхностей, в т.ч. с нанесенными покрытиями разного рода. Особое место в этой области занимают покрытия на основе твердотельных соединений: оксидов, нитридов или боридов. Они, как правило, имеют высокую твердость, температурную и коррозионную стойкость. Данная диссертация обобщает обширные экспериментальные исследования, выполненные в последние годы автором, по разработке эффективной технологии нанесения подобных покрытий путем распыления соответствующей диэлектрической мишени мощным электронным пучком в форвакуумном диапазоне давлений. В этом случае снимается проблема зарядки поверхности мишени электронами пучка, приводящая к его запырению.

Среди полученных автором результатов можно выделить следующие наиболее значимые:

- Разработаны научные основы технологии электронно-лучевого синтеза многофункциональных покрытий на основе твердых соединений оксидов, боридов и нитридов, с использованием форвакуумных плазменных источников.
- Исследован широкий круг вопросов, касающихся физических процессов генерации в форвакуумной области давлений пучковой плазмы, формирования в этой области давлений потоков заряженных частиц и нейтралов при осуществлении электронно-лучевого синтеза диэлектрических покрытий, а также при электронно-лучевом азотировании поверхности.
- Установлены параметры, определяющие долевое содержание газовых и металлических ионов в плазменно-пучковом разряде.

Практическое значение работы определяется тем обстоятельством, что разработанные технологии могут быть использованы для решения широкого круга задач науки и практики при нанесении функциональных покрытий твердотельных соединений типа оксидов, карбидов, силицидов, и др.

Автором проделан большой объем экспериментальных исследований, в т.ч. с использованием оригинальных методик, получен ряд интересных физических результатов, касающихся особенностей поведения плазменно-пучковой плазмы в форвакуумном диапазоне давлений.

В целом, работа представляет собой существенный вклад в развитие ионно-плазменных методов модификации поверхности и имеет большой

прикладной потенциал. Отмечу также активную публикационную деятельность автора и высокий уровень публикаций: 18 статей вышли в журналах, входящих в первый и второй квартили базы данных научного цитирования Web of Science.

Вместе с тем, к работе имеется ряд замечаний.

Общее замечание следующего характера. Автору следовало более тщательно обосновать полученные физические результаты. В частности, приведенная в п.2 раздела «Основные результаты» интерпретация данных рис.2б выглядят неубедительно: введение в плазму металлической компоненты, т.е. дополнительного канала энергопотерь на ионизацию, должно было бы уменьшить температуру электронов, вопреки характеру поведения приведенных на рисунке ее зависимостей от энергии пучка и заключению п.2. Удивительным и необъясненным представляется также немонотонный характер этой зависимости, особенно, резкое падение температуры электронов с ростом энергии электронного пучка.

Частные замечания.

1) Рис. 10б касающийся «распределения плавающего потенциала зондов, установленных в диэлектрической мишени» требует пояснений: каким образом эти зонды измеряли потенциал диэлектрика, облучаемого высокоэнергичным электронным пучком.

2) Непонятен смысл рис.12, к которому, к тому же, отсутствуют пояснения.

3) Полученные в Главе 5 результаты показывают перспективность использования предложенного метода азотирования изделий из титана. Однако учитывая выраженный прикладной, технологический характер диссертации, автору следовало более обстоятельно сравнить этот метод с апробированными и широко используемыми в промышленности ионно-плазменными технологиями.

4) Из рис.12 неясно, в чем заключается эффект понижения скорости деградации поверхности керамического изолятора плазменного микродвигателя после нанесения покрытия на основе бора.

Высказанные замечания, в основном, носят рекомендательный характер, работа выполнена на высоком научном уровне, получен ряд первоклассных результатов, важных для широкого класса технологических приложений.

На основании изложенного считаю, что диссертация соответствует требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности **01.04.04 – Физическая электроника**

Заведующий кафедрой общей и космической физики ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», доктор физико-математических наук, профессор Паперный Виктор Львович.

664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1

Телефон: 8- (3952)-521-254; e-mail: paperny@math.isu.runnet.ru

01.03.2021 года, г.Иркутск

 Паперный В.Л.

Отзыв заверяю: ученый секретарь совета  Кузьмина Н.Г

