

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Черкасова Александра Алексеевича** «СИЛЬНОТОЧНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНЕТРОННЫЙ РАЗРЯД С ИНЖЕКЦИЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ПЛАЗМЫ ВАКУУМНОЙ ДУГИ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ГЕНЕРАЦИИ ИОННЫХ ПУЧКОВ», представленной на соискании ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1.– вакуумная и плазменная электроника

Сильноточный импульсный магнетронный разряд (т.н. HIPIMS) является предметом активных исследований и применений благодаря ряду преимуществ по сравнению со классическим магнетронным распылением в непрерывном режиме. Ключевым фактором, обеспечивающим преимущества HIPIMS режима, является высокая степень ионизации распыляемого материала мишени и более высокие энергии ионов, что обеспечивает лучшую адгезию покрытий и возможность изменения их структуры. Снижение рабочего давления в процессах функционирования HIPIMS режима позволяет сохранить высокие энергии ионов, а также снизить влияние эффекта перезарядки в пространстве дрейфа между магнетроном и подложкой. Использование планарного магнетрона в HIPIMS режиме в качестве генератора плазмы в составе ионных источников также на данный момент затруднено по причине относительно высокого рабочего давления в области разряда. По этой причине снижение рабочего давления магнетрона в HIPIMS режиме также является актуальной задачей.

Работа Черкасова А.А. посвящена исследованию импульсной сильноточной разрядной системы на основе планарного магнетрона с дополнительной инжекцией электронов и ускорением их в катодном слое магнетронного разряда. Выбор такого подхода аргументирован минимальными энергетическими затратами для доставки дополнительных электронов в зону ионизации. В качестве эмиттера электронов в данной работе использовалась плазма импульсного вакуумно-дугового разряда, что обеспечило дополнительное снижение предельного рабочего давления в области эмиттера по сравнению с ранее использовавшимся эмиттером на основе тлеющего разряда с полым катодом.

Проведенные исследования показали возможность снижения рабочего давления импульсного сильноточного (до 100 А) магнетронного разряда до значений уровня $2,5 \cdot 10^{-2}$ Па, что является рекордным значением для HIPIMS режимов. Несомненным достоинством данной работы являются исследования влияния инжекции дополнительных электронов не только на параметры магнетронного разряда, но и масс-зарядовый состав ионов генерируемой плазмы, которые показали возможность реализации в одной разрядной системе за счет изменения величины тока инжекции режимов как с преобладанием ионов металла (режим самораспыления), так и с преобладанием ионов рабочего газа (нераспыляющий режим). Было показано, что снижение рабочего давления магнетрона за счет дополнительной инжекции электронов способствует увеличению скорости осаждения и качества покрытия.

Результаты исследований не раз докладывались на ведущих Российских и Международных конференциях и представлены в высокорейтинговых журналах (в т.ч. Q1). Таким образом, апробация полученных результатов не вызывает сомнений.

Автореферат написан понятным научно-техническим языком.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

- 1) В автореферате (стр.16) не представлена схема ионного источника.
- 2) В работе было использовано несколько разных материалов мишеней, однако данные по максимальной доле ионов металла в плазме в автореферате представлены только для медной мишени.
- 3) В описании четвертой главы представлена идея использования экспандера с отрицательным относительно анода магнетрона потенциалом для увеличения эмиссионного

ионного тока источника. Тем не менее, остается неясно использовал ли автор данную электродную систему в своих экспериментах и какие максимальные параметры были достигнуты в этом случае.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Считаю, что диссертационная работа Черкасова А.А. «Сильноточный импульсный магнетронный разряд с инжекцией электронов из плазмы вакуумной дуги для осаждения покрытий и генерации ионных пучков» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.2.1.– вакуумная и плазменная электроника, а ее автор Черкасов Александр Алексеевич заслуживает присуждение степени кандидата технических наук.

Я, Мамедов Никита Вадимович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Кандидат физико-математических наук, доцент
Начальник лаборатории ионной
имплантации «АО НИИ ТМ»

Н.В Мамедов.

Адрес: 124460, РФ, г. Москва, г. Зеленоград, Панфиловский проспект, дом 10
Телефон: +7(495) 229-75-01
E-mail: nmamedov@niitm.ru

Подпись Мамедова Н.В. удостоверяю

*Веруется, действительность по
картам*

Н.В. Мамедов