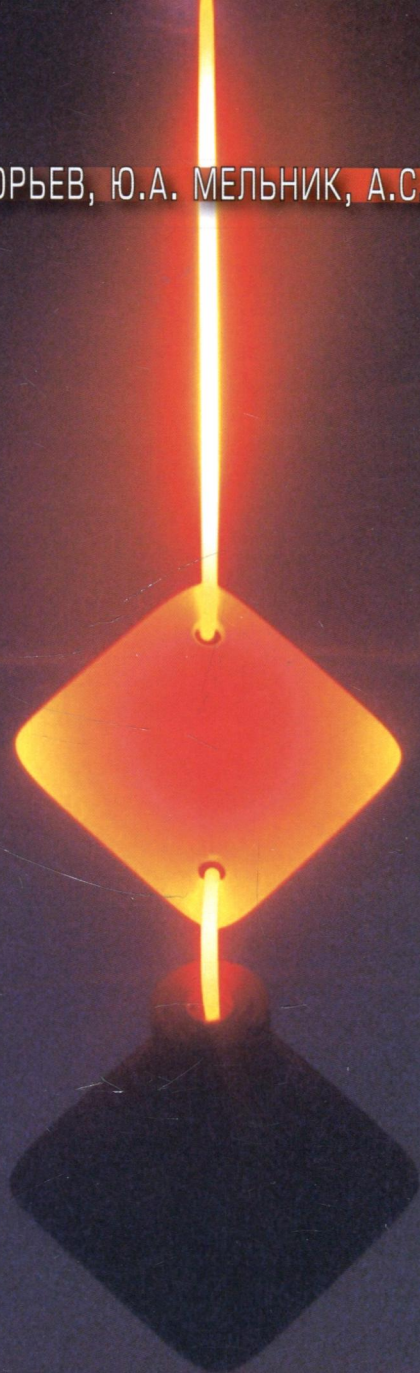


НАУКА  
SCIENCE



С.Н. ГРИГОРЬЕВ, Ю.А. МЕЛЬНИК, А.С. МЕТЕЛЬ

ИСТОЧНИКИ БЫСТРЫХ АТОМОВ ГАЗА И АТОМОВ  
МЕТАЛЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ



МОНОГРАФИЯ

**С.Н. ГРИГОРЬЕВ, Ю.А. МЕЛЬНИК,  
А.С. МЕТЕЛЬ**

**ИСТОЧНИКИ  
БЫСТРЫХ АТОМОВ ГАЗА  
И АТОМОВ МЕТАЛЛА  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ**

**МОНОГРАФИЯ**

Москва  
КУРС  
2021

УДК 621.793.18(075.4)

ББК K557

Г83

ФЗ  
№ 436-ФЗ

Издание не подлежит маркировке  
в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14-29-00297 от 06.08.2014 г)

Рецензенты:

*А.А. Грибков* — д-р техн. наук, доцент кафедры «Высокоэффективные технологии обработки», директор аналитического центра;

*В.В. Панин* — канд. техн. наук, зам. начальника отдела 21 ОАО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения»

**Григорьев С.Н.**

Г83 Источники быстрых атомов газа и атомов металла для обработки изделий : монография / Григорьев С.Н., Мельник Ю.А., Метель А.С. — Москва: КУРС, 2021. — 176 с.

ISBN 978-5-906923-01-1 (КУРС)

В монографии рассматриваются источники широких пучков быстрых нейтральных атомов газа и потоков атомов металла для обработки поверхности изделий. Излагаются физические основы генерации используемого в них плазменного эмиттера ионов в тлеющем разряде с электростатическим удержанием электронов. Описаны источники для синтеза покрытий на изделиях сложной геометрической формы из диэлектрических материалов с единой эмиссионной сеткой для атомов металла и сопровождающих их быстрых атомов газа. Анализируются результаты применения источников для активации поверхности перед осаждением покрытий на изделия из любых материалов, травления поверхности диэлектриков, осаждения и удаления износостойких покрытий.

Книга предназначена студентам и аспирантам, специализирующимся в области ионно-плазменной обработки материалов.

УДК 621.793.18(075.4)

ББК K557

ISBN 978-5-906923-01-1 (КУРС)

© Григорьев С.Н., Мельник Ю.А.,  
Метель А.С., 2016

© КУРС, 2016

---

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве «КУРС»

Подписано в печать 21.05.2021.

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,0.

Доп. тираж 100 экз. Заказ №2966.

ТК 652591-775357-211116

ООО Издательство «КУРС»

127273, Москва, ул. Олонецкая, д. 17А, офис 104.

Тел.: (495) 203-57-83. E-mail: kursizdat@gmail.com

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 3   |
| <b>Глава 1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКОЙ</b> .....   | 5   |
| 1.1. Заполнение вакуумной камеры плазмой тлеющего разряда и пространственное распределение ее параметров.....                              | 5   |
| 1.2. Снижение разрядного напряжения при бомбардировке катода ускоренными электронами.....  | 22  |
| <b>Глава 2. ИСТОЧНИКИ ПУЧКОВ БЫСТРЫХ АТОМОВ ГАЗА С ГЕНЕРАЦИЕЙ ПЛАЗМЕННОГО ЭМИТТЕРА ИОНОВ В РАЗРЯДЕ С ЛОВУШКОЙ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА</b> .....   | 33  |
| 2.1. Регулировка энергии быстрых атомов газа изменением потенциалов анода и эмиссионной сетки.....   | 34  |
| 2.2. Измерение кинетической энергии быстрых атомов и плотности транспортируемой ими в камеру мощности.....                                 | 41  |
| 2.3. Параметры плазменного эмиттера и вторичной плазмы в камере.....   | 46  |
| 2.4. Источники пучков быстрых атомов с секционированными полами катодами и эмиссионными сетками.....                                       | 57  |
| <b>Глава 3. ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД В ИСТОЧНИКАХ БЫСТРЫХ АТОМОВ С МАЛОГАБАРИТНЫМИ ЛОВУШКАМИ</b> .....   | 66  |
| 3.1. Повышение тока электронной эмиссии полого катода источника быстрых атомов бомбардировкой электронами из вакуумной камеры.....         | 67  |
| 3.2. Определение эквивалентного тока быстрых атомов и молекул при инжекции электронов в источник пучка через его эмиссионную сетку.....    | 74  |
| 3.3. Источники быстрых молекул с плазменным анодом.....  | 84  |
| <b>Глава 4. ИСТОЧНИКИ СМЕШАННЫХ ПОТОКОВ АТОМОВ МЕТАЛЛА И БЫСТРЫХ АТОМОВ ГАЗА</b> .....   | 90  |
| 4.1. Источники атомов металла с мишенью, распыляемой высокоэнергетическими ионами из плазмы разряда с полым катодом в магнитном поле.....  | 91  |
| 4.2. Источник смешанного потока быстрых молекул газа и атомов мишени на дне полого катода, распыляемой ионами из плазменного эмиттера..... | 101 |
| 4.3. Аксиально-симметричные источники смешанного потока атомов металла и быстрых молекул газа.....   | 112 |
| <b>Глава 5. ПОВЕРХНОСТНАЯ И РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСТОЧНИКОВ БЫСТРЫХ АТОМОВ ГАЗА И АТОМОВ МЕТАЛЛА</b> .....                | 117 |
| 5.1. Поверхностная обработка изделий быстрыми атомами и молекулами.....  | 117 |
| 5.2. Размерная обработка деталей машин и инструмента пучком быстрых атомов аргона.....   | 127 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.2.1. Пространственное распределение скорости распыления материалов в рабочей вакуумной камере .....  | 127        |
| 5.2.2. Травление через маску фасонных газодинамических канавок на поверхности бесконтактных торцовых уплотнений компрессоров и газовых подшипников, изготовленных из твердых диэлектриков.....       | 136        |
| 5.2.3. Уменьшение радиуса скругления режущей кромки инструмента в результате однородного распыления его поверхности быстрыми атомами аргона и удаление с его поверхности износостойких покрытий..... | 142        |
| 5.3. Комбинированная поверхностная обработка инструмента и деталей машин с помощью универсальных источников пара и быстрых молекул .....   | 146        |
| 5.3.1. Параметры химически активной плазмы, образующейся в вакуумной камере при инжекции в нее ускоренных ионов и их перезарядке .....   | 146        |
| 5.3.2. Повышение однородности и концентрации образованной пучком плазмы с помощью самостоятельного разряда с электростатическим удержанием электронов в камере .....                                 | 150        |
| 5.3.3. Активация поверхности инструмента быстрыми атомами аргона, азотирование в плазме самостоятельного разряда в камере и синтез на поверхности износостойкого покрытия.....                       | 158        |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>   | <b>161</b> |