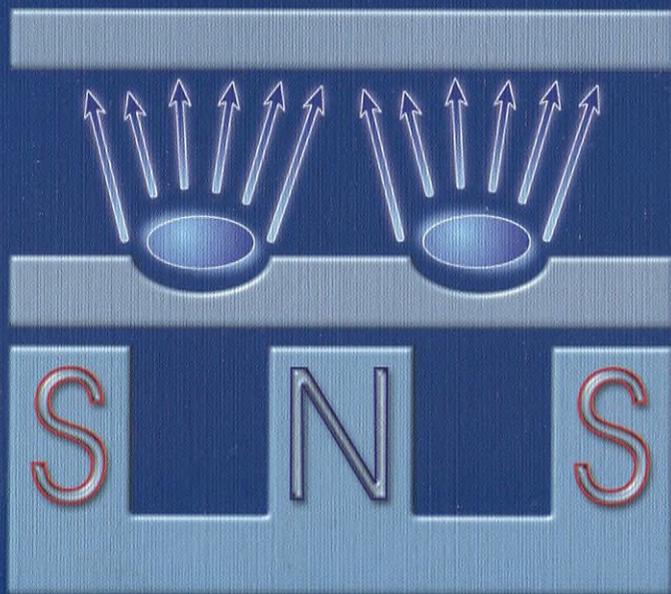


621.793  
К89

А. КУЗЬМИЧЁВ

# МАГНЕТРОННЫЕ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

1



А. И. Кузьмичёв

# **Магнетронные распылительные системы**

Книга 1

**Введение в физику и технику  
магнетронного распыления**

Киев  
«Аверс»  
2008

УДК 621.793.18: 621.38

ББК 32.851.2

К89

Рецензенты:

А. А. Гончаров, д-р физ.-мат. наук

И. С. Малашенко, д-р техн. наук

Рекомендовано к печати Учёным Советом факультета электроники Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”

**Кузьмичёв А. И.**

К89 Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. - К.: Аверс, 2008. - 244 с.

ISBN 966-8934-07-5

Рассмотрены физические основы магнетронного распыления и разновидности магнетронных систем для нанесения тонких плёнок и покрытий различного назначения, в том числе системы с усиленной ионизацией газовой среды и импульсные магнетронные распылительные системы.

Для научных и инженерно-технических работников, аспирантов и студентов высших технических заведений, специализирующихся в области электронных физико-технических устройств и ионно-плазменных технологий для электроники, оптики и машиностроения.

УДК 621.793.18: 621.38

ББК 32.851.2

ISBN 966-8934-07-5

© А.И. Кузьмичёв, 2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
<b>1 Ионное распыление в газовом разряде и сопутствующие эффекты.....</b>	<b>9</b>
1.1 Характеристики процесса ионного распыления.....	9
1.2 Системы ионного распыления и их сравнение.....	20
<b>2 Элементарная физика магнетронного разряда.....</b>	<b>27</b>
2.1 Разновидности электрических разрядов в магнитном поле. Основные термины и определения.....	27
2.2 История открытия магнетронного разряда: от Филлиппа до Пеннинга.....	42
2.3 Движение заряженных частиц в магнитном поле в вакууме и газе.....	51
2.3.1 Движение электронов в однородном магнитном поле при отсутствии внешнего электрического поля.....	52
2.3.2 Движение электронов в однородных электрическом и магнитном полях в вакууме.....	62
2.3.3 Движение электронов в скрещенных полях в газе низкой плотности.....	67
2.3.4 Движение электронов в неоднородном магнитном поле.....	70
2.4 Движение заряженных частиц в магнетронном разряде.....	82
2.4.1 Движение частиц в пространстве, ограниченном электродами.....	82
2.4.2 Движение частиц в предразрядный период, возникновение магнетронного разряда.....	92
2.4.3 Движение частиц в магнетронах с однородным магнитным полем при наличии плазмы в межэлектродном промежутке.....	94
2.4.4 Движение электронов в планарном магнетроне с неоднородным магнитным полем при наличии плазмы в межэлектродном промежутке.....	100
2.4.5 Эффект магнитной ловушки и локализация разряда в планарном магнетроне с неоднородным магнитным полем.....	109
2.5 Столкновения заряженных частиц с молекулами газа. Ионизация газа и распылённых частиц.....	116

2.6 Влияние конфигурации неоднородного магнитного поля на характеристики планарных магнетронов.....	122
<b>3 Разновидности магнетронных распылительных систем.....</b>	<b>130</b>
3.1 Основные направления развития МРС.....	130
3.2 МРС с одной мишенью и несбалансированной магнитной системой.....	145
3.2.1 Системы с вертикальной составляющей магнитного поля, направленной к подложке.....	147
3.2.2 Системы с магнитной изоляцией стенок разрядной камеры.....	149
3.2.3 Системы с рассеиванием магнитного поля в боковую сторону от подложки, магнитное “смещение” подложки.....	151
3.3 МРС с несколькими мишенями и размещением подложек в замкнутом магнитном поле.....	153
3.4 МРС с двумя мишенями типа “электрическое зеркало” и размещением подложек вне магнитного поля.....	158
3.5 МРС с устройствами для дополнительной ионизации газа.....	163
<b>4 Импульсные МРС.....</b>	<b>168</b>
4.1 Устройство и принцип работы импульсных МРС.....	172
4.2 Проблема дугообразования при работе МРС с реакционным газом и способы её решения.....	179
4.3 Электрическое питание МРС с одним магнетроном.....	189
4.4 Электрическое питание МРС с двумя магнетронами.....	195
4.5 Системы синусоидального тока для питания МРС с двумя магнетронами.....	198
4.6 Особенности массопереноса на подложку при импульсном распылении.....	201
4.7 Применение импульсных МРС.....	206
4.7.1 Покрытия из твердого оксида алюминия.....	206
4.7.2 Покрытия на стеклах.....	207
4.7.3 Нанесение покрытий на рулонные материалы.....	208
<b>Заключение.....</b>	<b>209</b>
Приложение: Векторы и векторное произведение при определении направления действия силы Лоренца. Правила левой и правой руки для электронов.....	211
<b>Литература.....</b>	<b>215</b>