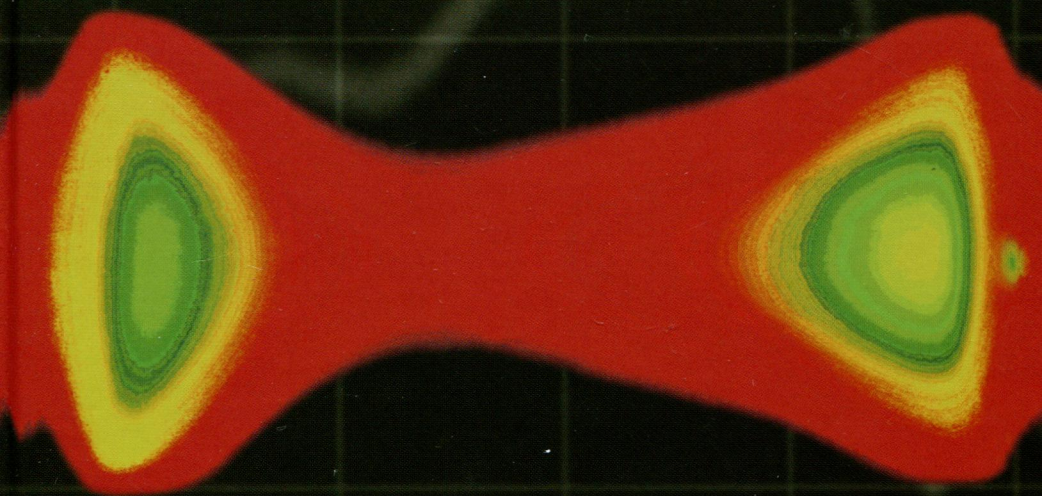
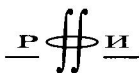


**В.П. Савинов**

**Ф И З И К А  
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО  
ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА**



УДК 537.075.8  
ББК 22.23  
С 13



*Издание осуществлено при поддержке  
Российского фонда фундаментальных  
исследований по проекту 13-02-0713,  
не подлежит продаже*

Савинов В.П. **Физика высокочастотного емкостного разряда.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 308 с. — ISBN 978-5-9221-1551-3.

Подробно описаны физический механизм высокочастотного емкостного разряда (ВЧЕР) низкого и среднего давления и свойства плазмы разряда. Исследованы основные свойства и характеристики ВЧЕР, особенности электрического пробоя в высокочастотном поле. Предлагается новая классификация ВЧЕР, частота ВЧ-поля трактуется как фундаментальный параметр разряда. Детально рассмотрены свойства приэлектродных слоев пространственного разряда, природа электрического поля в них, процессы транспорта заряда на электроды. Граничные эффекты во ВЧЕР рассматриваются с учетом таких ранее неизвестных эффектов, как дискретный механизм транспорта электронов плазмы на электроды, краевой эффект и др. Особое внимание уделено обнаруженному явлению возникновения приэлектродных электронных пучков. Исследованы свойства плазмы ВЧЕР при различных режимах разряда. Подробно рассмотрены методы диагностики ВЧЕР.

Монография рассчитана на научных работников, занимающихся физикой газового разряда и низкотемпературной плазмы, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	6
Введение . . . . .	8
Сокращения, используемые в тексте . . . . .	16
<b>Глава 1. Основные физические свойства и характеристики высокочастотного емкостного разряда . . . . .</b>	<b>17</b>
1.1. Общие электромагнитные свойства и классификация ВЧР . . . . .	17
1.2. Основные различия физических свойств ВЧЕР и разряда постоянного тока . . . . .	23
1.3. Электрический пробой газа в ВЧ поле . . . . .	24
1.4. Процесс энергопередачи в электрической цепи ВЧЕР. . . . .	33
1.5. Вольт-амперная характеристика ВЧЕР . . . . .	36
1.6. Современные представления о классификации ВЧЕР по типам . . . . .	49
1.7. Ангармонизм разрядного тока ВЧЕР. . . . .	55
1.8. Пространственная структура ВЧЕР. . . . .	59
1.9. Зависимость физических свойств ВЧЕР от конфигурации разрядного промежутка . . . . .	68
1.10. Динамика физических процессов в ВЧЕР . . . . .	81
1.11. Частота ВЧ поля — фундаментальный параметр ВЧЕР. . . . .	85
<b>Глава 2. Физические свойства приэлектродных слоев пространственного заряда ВЧЕР . . . . .</b>	<b>90</b>
2.1. Специфика ПСПЗ ВЧЕР по сравнению с разрядом постоянного тока . . . . .	90
2.2. Функциональная роль приэлектродных и стеночных слоев пространственного заряда в ВЧЕР. . . . .	92
2.3. Механизм проводимости разрядного тока в ПСПЗ. . . . .	93
2.4. Явление ВЧ-детектирования в ПСПЗ . . . . .	96
2.5. Зависимость квазистационарного скачка потенциала $U_s$ в ПСПЗ от параметров ВЧЕР . . . . .	99
2.5.1. Закономерности зависимости $U_s$ от амплитуды ВЧ напряжения $V_{\sim}$ (99). 2.5.2. Зависимость $U_s$ от давления газа (102). 2.5.3. Зависимость $U_s$ от материала электрода и рода газа (102). 2.5.4. Частотная зависимость $U_s(f)$ (105).	
2.6. Приэлектродный скачок потенциала $U_s$ в ВЧЕР с внешними электродами . . . . .	110
2.7. Характер результирующего электрического поля в ПСПЗ ВЧЕР . . . . .	112

2.8. Особенности свойств ПСПЗ в асимметричном ВЧЕР. Эффект «самосмещения». «Батарейный» эффект . . . . .	115
2.9. Транспорт ионов газоразрядной плазмы на электроды . . . . .	116
2.10. Транспорт электронов в ПСПЗ . . . . .	121
2.10.1. О присутствии электронов в ПСПЗ (121). 2.10.2. Экспериментальное изучение приэлектродных электронных потоков от электродов в плазму (122). 2.10.3. Перенос электронов из плазмы на электроды (130).	
2.11. Электронно-эмиссионные процессы на электродах . . . . .	141
2.12. Бесконтактный метод диагностики параметров ПСПЗ ВЧЕР . . . . .	153
<b>Глава 3. Граничные эффекты высокочастотного емкостного разряда . . . . .</b>	<b>165</b>
3.1. ПСПЗ как источник граничных эффектов ВЧЕР . . . . .	165
3.2. Влияние ПСПЗ на транспорт заряженных частиц в приэлектродной плазме . . . . .	166
3.3. Стохастический нагрев электронов приэлектродной плазмы осциллирующей границей ПСПЗ . . . . .	174
3.4. Специфические свойства границы «ПСПЗ–плазма» в ВЧЕР . . . . .	175
3.5. Возможность дискретного механизма транспорта электронов плазмы на электроды ВЧЕР . . . . .	178
3.6. Граничный резонансный эффект в ВЧЕР . . . . .	180
3.7. Краевой эффект ВЧ поля в ВЧЕР . . . . .	181
3.8. Особенности скинирования переменного электрического поля приэлектродной плазмой ВЧЕР . . . . .	182
<b>Глава 4. Приэлектродные электронные пучки в ВЧЕР . . . . .</b>	<b>184</b>
4.1. Явление возникновения приграничных электронных пучков в ВЧЕР . . . . .	185
4.1.1. Приэлектродные электронные пучки (185). 4.1.2. Стеночные электронные пучки (195).	
4.2. Методы диагностики электронных пучков в ВЧЕР . . . . .	201
4.3. Параметры электронных пучков ВЧЕР низкого давления . . . . .	204
4.4. Процессы пространственной и временной релаксации приэлектродных электронных пучков . . . . .	211
<b>Глава 5. Физические свойства ВЧ газоразрядной плазмы . . . . .</b>	<b>219</b>
5.1. Особенности свойств плазмы ВЧЕР . . . . .	219
5.2. Характер движения заряженных частиц в плазме ВЧЕР . . . . .	220
5.3. Разновидности плазмы ВЧЕР низкого давления . . . . .	222
5.4. Электронный энергетический спектр плазмы симметричного ВЧЕР . . . . .	223
5.4.1. Обзор литературных данных (224). 5.4.2. Постановка задачи наших исследований (242). 5.4.3. ЭЭС плазмы ВЧЕР при выполнении условия $\omega_{e0} \leq \nu_{en}$ (243). 5.4.4. ЭЭС плазмы ВЧЕР в случае $\omega_{0e} \gg \nu_{en}$ (248).	
5.5. ЭЭС плазмы асимметричного ВЧЕР . . . . .	263

---

5.6. Временной ход физических процессов в ВЧЕР и его влияние на ЭЭС приэлектродной плазмы . . . . .	267
5.7. Влияние поперечного магнитного поля на временной ход ЭЭС приэлектродной плазмы АВЧЕР . . . . .	273
5.8. Роль электронов пучка в балансе заряженных частиц приэлектродной плазмы . . . . .	275
5.9. Пучково-плазменные неустойчивости в ВЧЕР . . . . .	278
5.9.1. Экспериментальные данные о присутствии пучковой неустойчивости в исследованном ВЧЕР (278).	
5.9.2. Анализ характеристик пучковой неустойчивости (282).	
5.9.3. Параметры пучково-плазменной неустойчивости в симметричном ВЧЕР (283).	
5.9.4. Проявление ППН в асимметричном ВЧЕР (288).	
5.9.5. ВЧЕР со вторичным «СВЧ-пробоем» (290).	
Список литературы . . . . .	297