

Современные электротехнологии
Том 8

В.М. ГЕЛЛЕР, В.А. ХРУСТАЛЕВ

ПЛАЗМЕННЫЕ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

НОВОСИБИРСК
2011

УДК 621.38:533.9
Г 314

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *А.И. Алиферов*;
гл. инженер ЗАО «Экран–оптические системы» *В.И. Кривошеев*

Геллер В.М.

Г 314 Плазменные высокочастотные технологии для электронного приборостроения: монография / В.М. Геллер, В.А. Хрусталеv. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 298. (Серия монографий «Современные электротехнологии». – Т. 8).

ISBN 978-5-7782-1560-3

Монография посвящена решению актуальных проблем создания аппаратурно-технологических и аппаратурно-физических комплексов применительно к задачам электронного приборостроения, оптимизации аппаратурного обеспечения плазменных технологических процессов в современном вакуумном приборостроении.

Возбуждение химически активных сред рассматривается с учетом энерго- и массообмена (неравновесная плазма). Предложены методы использования высокочастотных полей с особыми частотно-спектральными свойствами для создания однородных и пространственно развитых плазменных объемов.

Большое внимание уделено созданию современных высокоэффективных генераторов низкотемпературной плазмы – плазмотронов: Е-типа и Н-типа, гибридных генераторов, а также многоканальных пространственно распределенных генераторов, позволяющих реализовать различные технологические операции. Особое внимание уделяется природоохранным аспектам использования техногенных устройств, какими являются высокочастотные и сверхвысокочастотные плазмтроны.

Рассмотрены вопросы элементарно-аппаратурного обеспечения электротехнологических процессов с использованием как полупроводниковых активных элементов, так и мощных вакуумных приборов высокочастотного диапазона.

Книга может представлять интерес для широкого круга технологов и конструкторов, работающих в области электронного приборостроения.

УДК 621.38:533.9

ISBN 978-5-7782-1560-3

© Геллер В.М., Хрусталеv В.А., 2011
© Новосибирский государственный
технический университет, 2011

Modern electrotechnics
Volume 8

V.M. GELLER, V.A. KHRUSTALEV

PLASMA
HIGH-FREQUENCY TECHNOLOGIES
FOR ELECTRONIC
INSTRUMENT MAKING

NOVOSIBIRSK
2011

UDC 621.38:533.9
G 314

Reviewers:

Prof. *A.I. Aliferov*; D. Sc. (Phys. & Math.)

V.I. Krivosheev, Chief Engineer, Ekran-Optical Systems, close corporation

Geller V.M.

G 314 Plasma high-frequency technologies for electronic instrument making: monograph / V.M. Geller, V.A. Khrustalev. – 2nd edition revised and supplemented. – Novosibirsk: NSTU Publisher, 2011. – 298 pp. («Modern electrotechnics». – Vol. 8).

ISBN 978-5-7782-1560-3

The monograph is devoted to solving urgent problems of creating hardware-technological and hardware-physical complexes as applied to tasks of electronic instrument making. The optimization problem of hardware support of plasma technological processes in modern vacuum instrument making is also tackled in the book.

The excitation of chemically active media is considered with regard to energy and mass exchange (nonequilibrium plasma). Application methods of RF electromagnetic fields having special frequency-spectral properties for creating homogeneous and spatially advanced plasma volumes are proposed.

Great attention is given to designing highly-efficient up-to-date low-temperature plasma oscillators, namely E- and H-type plasmatrons, hybrid oscillators as well as multichannel spatially distributed oscillators, to implement various technological operations. Special attention is paid to environmental aspects of RF and UHF plasmatron application.

Issues of element and hardware support of electrotechnological processes by using both active semiconductor elements and powerful RF vacuum devices are addressed in the monograph.

The book can be of interest to electronics engineers, designers and technologists.

UDC 621.38:533.9

ISBN 978-5-7782-1560-3

© Geller V.M., Khrustalev V.A., 2011

© Novosibirsk State Technical
University, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Глава 1. Приборно-реакторные среды энерго- и массообмена	9
1.1. Низкотемпературная плазма – активатор физико-химических процессов	9
1.2. Особенности плазмообразующих газов	10
1.3. Активация процессов в неравновесной плазме	14
1.4. Влияние электромагнитных колебаний с различными частотно-спектральными характеристиками на низкотемпературную плазму	22
1.5. Энергетические воздействия на низкотемпературную плазму детерминированного многочастотного колебания типа меандр	31
Глава 2. Обобщенный технологический процесс (модельные представления)	39
Глава 3. Источники энергообеспечения реакторных комплексов	56
3.1. Многокаскадные электромагнитные источники	56
3.2. Исследование системы вида «активный распределенный восьмиполосник»	67
3.3. Полигармонические высокочастотные источники	87
3.4. Схемные методы оптимизации параметров мощных автогенераторов	98
3.5. Работа ГЗОС в режимах многочастотной детерминированной генерации и автоколебательного шумообразования	103
3.6. Исследование возможности эффективной генерации высокочастотных шумоподобных колебаний	111
Глава 4. Конструкции плазмохимических реакторов	119
4.1. Реакторные системы на базе объемных резонаторов СВЧ	119
4.2. Гибридные реакторные системы	123
4.3. Протяженные и дискретно-распределенные плазменные реакторы	125

Глава 5. Генераторы низкотемпературной плазмы в современном приборостроении	133
5.1. Емкостные генераторы плазмы.....	134
5.2. Индукционные генераторы плазмы.....	138
5.3. Гибридные генераторы плазмы	142
5.4. Многоканальные генераторы плазмы	145
Глава 6. Активная элементная база построения источников энерго- обеспечения реакторных комплексов.....	182
6.1. Общие вопросы элементно-аппаратурного обеспечения элек- тротехнологий в ВЧ (СВЧ) диапазоне.....	182
6.2. Мощные приборы с сеточным управлением для промышлен- ных целей. Тенденции развития	184
6.3. Сетевые магнетроны. Тенденции развития	196
Глава 7. Реальные плазменные и термические процессы в приборо- строении	209
7.1. Оптимизация процессов высокочастотной термии	209
7.2. Высокочастотная плазмотермия. Оптимизация методов дест- рукции полимеров	227
7.3. Использование низкотемпературной плазмы в газовых лазерах	248
Заключение	282
Библиографический список.....	284

CONTENTS

Introduction	7
Chapter 1. Instrument and Reactor Media of Energy and Mass Exchange	9
1.1. Low temperature plasma as an activator of physical and chemical processes	9
1.2. Peculiarities of plasma-forming gases.....	10
1.3. Activation of processes in nonequilibrium plasma.....	14
1.4. Effect of electromagnetic oscillations with different frequency and spectral characteristics on low temperature plasma	22
1.5. Energy effect of determined multifrequency oscillations of the meander type on low temperature plasma.....	31
Chapter 2. Generalized Technological Process (Model Representation)	39
Chapter 3. Power Supply Sources for Reactor Complexes	56
3.1. Multistage electromagnetic sources	56
3.2. Analysis of the active distributed eight-terminal network system.....	67
3.3. Polyharmonic radio-frequency sources	87
3.4. Circuit methods of parameter optimization of powerful self-excited oscillators	98
3.5. Delayed feedback oscillator operation in the multifrequency deterministic generation and self-oscillating noise generation modes	103
3.6. Analysis of efficient generation of RF noise-like oscillations.....	111
Chapter 4. Plasmachemical Reactor Design.....	119
4.1. Reactor systems based on UHF cavity resonators.....	119
4.2. Hybrid reactor systems.....	123
4.3. Extended and discrete-distributed plasma reactors	125
Chapter 5. Low Temperature Plasma Oscillators for Modern Instrument Making.....	133
5.1. Capacity plasma oscillators.....	134
5.2. Induction plasma oscillators.....	138
5.3. Hybrid plasma oscillators.....	142
5.4. Multichannel plasma oscillators.....	145

Chapter 6. Design of Power Supply Sources for Reactor Complexes Based on Active Elements	182
6.1. General problems of element-hardware support of RF and UHF electotechnologies	182
6.2. Powerful grid-controlled devices for industrial application. Development trends	184
6.3. Grid/mains/network magnetrons. Development trends	196
Chapter 7. Real Plasma and Thermal Processes Used in Instrument Making ..	209
7.1. Optimization of RF termia processes	209
7.2. RF plasmotermia. Optimization of polymer destruction methods.....	227
7.3. The use of low temperature plasma in gas lasers	248
Conclusions	282
References	284

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Геллер Владимир Михайлович
Хрусталеv Владимир Александрович**

**ПЛАЗМЕННЫЕ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Монография

Редактор *Л.Н. Ветчакова*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Художественный редактор *А.В. Ладыжская*
Компьютерная верстка *В.Ф. Ноздрева*

Подписано в печать 02.02.2011
Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная
Уч.-изд. л. 18,75. Печ. л. 18,75
Тираж 3000 экз. (1-й з-д – 1–100 экз.)
Изд. № 276. Заказ № 270

Издательство Новосибирского государственного
технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Тел. (383) 346-31-87
E-mail: office@publish.nstu.ru

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.М. ГЕЛЛЕР, В.А. ХРУСТАЛЕВ

ПЛАЗМЕННЫЕ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

НОВОСИБИРСК
2011

УДК 621.38:533.9
Г 314

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *А.И. Алиферов*;
гл. инженер ЗАО «Экран–оптические системы» *В.И. Кривошеев*

Геллер В.М.

Г 314 Плазменные высокочастотные технологии для электронного приборостроения: монография / В.М. Геллер, В.А. Хрусталеv. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 298 с. (Серия «Монографии НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-1559-7

Монография посвящена решению актуальных проблем создания аппаратурно-технологических и аппаратурно-физических комплексов применительно к задачам электронного приборостроения, оптимизации аппаратурного обеспечения плазменных технологических процессов в современном вакуумном приборостроении.

Возбуждение химически активных сред рассматривается с учетом энерго- и массообмена (неравновесная плазма). Предложены методы использования высокочастотных полей с особыми частотно-спектральными свойствами для создания однородных и пространственно развитых плазменных объемов.

Большое внимание уделено созданию современных высокоэффективных генераторов низкотемпературной плазмы – плазмотронов: Е-типа и Н-типа, гибридных генераторов, а также многоканальных пространственно распределенных генераторов, позволяющих реализовать различные технологические операции. Особое внимание уделяется природоохранным аспектам использования техногенных устройств, какими являются высокочастотные и сверхвысокочастотные плазмтроны.

Рассмотрены вопросы элементно-аппаратурного обеспечения электротехнологических процессов с использованием как полупроводниковых активных элементов, так и мощных вакуумных приборов высокочастотного диапазона.

Книга может представлять интерес для широкого круга технологов и конструкторов, работающих в области электронного приборостроения.

УДК 621.38:533.9

ISBN 978-5-7782-1559-7

© Геллер В.М., Хрусталеv В.А., 2011
© Новосибирский государственный
технический университет, 2011

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
NOVOSIBIRSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY

V.M. GELLER, V.A. KHRUSTALEV

PLASMA
HIGH-FREQUENCY TECHNOLOGIES
FOR ELECTRONIC
INSTRUMENT MAKING

NOVOSIBIRSK
2011

UDC 621.38:533.9
G 314

Reviewers:

Prof. *A.I. Aliferov*; D. Sc. (Phys. & Math.)

V.I. Krivosheev, Chief Engineer, Ekran-Optical Systems, close corporation

Geller V.M.

G 314 Plasma high-frequency technologies for electronic instrument making: monograph / V.M. Geller, V.A. Khrustalev. – 2nd edition revised and supplemented. – Novosibirsk: NSTU Publisher, 2011. – 298 pp. («NSTU Monographs» series).

ISBN 978-5-7782-1559-7

The monograph is devoted to solving urgent problems of creating hardware-technological and hardware-physical complexes as applied to tasks of electronic instrument making. The optimization problem of hardware support of plasma technological processes in modern vacuum instrument making is also tackled in the book.

The excitation of chemically active media is considered with regard to energy and mass exchange (nonequilibrium plasma). Application methods of RF electromagnetic fields having special frequency-spectral properties for creating homogeneous and spatially advanced plasma volumes are proposed.

Great attention is given to designing highly-efficient up-to-date low-temperature plasma oscillators, namely E- and H-type plasmatrons, hybrid oscillators as well as multichannel spatially distributed oscillators, to implement various technological operations. Special attention is paid to environmental aspects of RF and UHF plasmatron application.

Issues of element and hardware support of electrotechnological processes by using both active semiconductor elements and powerful RF vacuum devices are addressed in the monograph.

The book can be of interest to electronics engineers, designers and technologists.

UDC 621.38:533.9

ISBN 978-5-7782-1559-7

© Geller V.M., Khrustalev V.A., 2011

© Novosibirsk State Technical
University, 2011