

## О ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА В БЕЗНАКАЛЬНОМ МАГНЕТРОНЕ С АВТОЭМИССИОННЫМ ЗАПУСКОМ

А. А. Гурко<sup>\*</sup>, В. Д. Еремка, В. Д. Науменко<sup>\*\*</sup>, Н. И. Скрипкин<sup>\*</sup>

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины,  
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина  
E-mail: [veryomka@ire.kharkov.ua](mailto:veryomka@ire.kharkov.ua)*

*<sup>\*</sup> Открытое акционерное общество «Плутон»,  
11, ул. Ново-Сыромятинская, Москва, 105120, Россия  
E-mail: [pluton@aha.ru](mailto:pluton@aha.ru)*

*<sup>\*\*</sup> Институт радиоастрономии НАН Украины,  
4, ул. Краснознаменная, Харьков, 61002, Украина  
E-mail: [naumenko@rian.kharkov.ua](mailto:naumenko@rian.kharkov.ua)*

Рассматриваются возможные физические процессы при образовании объемного заряда в пространстве взаимодействия безнакального магнетрона с основным холодным катодом и вторичноэлектронным эмиттером, запуск которого осуществляют первичными электронами, эмитированными автоэлектронным эмиттером дополнительного катода. Предложена методика оценки возможности достижения режима ограничения тока пространственным зарядом. Предложена методика оценки условий возникновения режима ограничения тока пространственным зарядом. Библиогр.: 18 назв.

**Ключевые слова:** магнетрон, холодный катод, вторичноэлектронная эмиссия, автоэлектронная эмиссия, режим ограничения тока пространственным зарядом.

Многорезонаторный магнетрон - один из первых генераторов СВЧ колебаний, занимает значительное место в перечне современных генераторов электромагнитного излучения. Широкое применение магнетронов в течение многих десятилетий обусловлено постоянным совершенствованием их конструкции и технологии изготовления. Модернизация обеспечивает им все более высокие параметры и конкурентоспособность. Убедительным подтверждением этого являются магнетроны, которые содержат основной холодный катод (ОХК) с вторично-электронным эмиттером (ВЭЭ) и дополнительный катод с автоэлектронным эмиттером (АЭЭ) [1, 2]. Запуск процесса генерации в таких магнетронах осуществляют с помощью тока автоэлектронной эмиссии с дополнительного полевого катода (ДК). Физические механизмы формирования объемного заряда в пространстве взаимодействия таких магнетронов недостаточно изучены.

Фундаментальное отличие магнетрона с основным термоэлектронным катодом от магнетрона с безнакальным ОХК и автоэмиссионным запуском состоит в механизме формирования объемного заряда в их пространстве взаимодействия. Высказано предположение, что причиной нарастания объемного заряда является бомбардировка ВЭЭ ОХК первичными электронами с АЭЭ ДК [1]. В работе [3] процесс формирования пространственного заряда в магнетроне с ОХК и ВЭЭ представлен сложнее: ток автоэлектронной эмиссии ионизирует остаточный газ, и образовавшиеся ионы бомбардируют ВЭЭ. Ни один из упомя-

нутых механизмов не имеет убедительных доказательств. Вместе с тем, в отечественных публикациях о работе и характеристиках магнетронов с автоэмиссионным запуском укоренилось первое представление. Вероятно оно ближе к истине, так как в рассматриваемых магнетронах не наблюдается заметного запаздывание фронта импульса тока анода относительно фронта модулирующего импульса напряжения, которое характерно для газонаполненного магнетрона с холодным катодом [3].

При температуре катода, исключаяющей появление термоэлектронной эмиссии, ДК с АЭЭ испускает первичные электроны на фронте каждого импульса. С целью увеличения времени функционирования автоэлектронного эмиттера представляется целесообразным после накопления пространственного заряда достаточной величины его «отключать». Очевидно, что выключателем может служить накопленный объемный заряд, если он экранирует АЭЭ от действия электрического поля, создаваемого напряжением анода. Современная теория магнетрона представляет электронное облако в пространстве взаимодействия в виде «втулки» пространственного заряда со «спицами» и границей раздела на радиусе синхронизации  $r_c$ . Поэтому радиус АЭЭ может быть определен с помощью уравнения [4]:

$$r_{\text{АЭЭ}} = r_{\text{ВЭК}} \sqrt{\frac{\omega_{\text{ц}}}{\omega_{\text{ц}} - 2\omega_{\text{с}}}}, \quad (1)$$

где  $r_{\text{ВЭК}}$  - радиус вторично-эмиссионного катода;  $\omega_{\text{с}} = 2\pi f/\gamma$ ,  $f$  - частота генерации,  $\gamma$  - замед-

ление волны высокочастотного потенциала;  $\omega_{ц}$  - циклотронная частота. Реально, из-за колебательных процессов в пространственном заряде граница его «втулки», по мнению многих исследователей, удалена от катода дальше  $r_c$ .

В магнетронах с одинаковыми  $U_a$  и размерами пространства взаимодействия ток запуска с АЭЭ меньше тока запуска с термоэлектронного эмиттера, что заставляет при использовании автоэмиссионного запуска искать возможность обеспечения требуемого рабочего тока за счет увеличения тока вторичной эмиссии путем повышения эффективности бомбардировки катода. Возрастающую эффективность бомбардировки катода согласно [5] способствует увеличение радиуса кривизны пространства взаимодействия. Реализация автоэмиссионного запуска в коаксиальных магнетронах (КМ) оказывается проще вследствие большего радиуса кривизны пространства взаимодействия.

Кардинальное изменение механизма эмиссии первичных электронов отразилось на проблеме подавления конкурирующих видов колебаний. Очевидны два обстоятельства:

- ток термоэлектронной эмиссии больше тока автоэлектронной эмиссии;

- при автоэлектронном запуске первичные электроны появляются при значительно большем напряжении анода, поэтому продолжительность процесса «размножения» первичных электронов в этой ситуации, существенно меньше, чем при запуске термоэлектронами.

Данные, накопленные в процессе разработки и производства магнетронов с автоэмиссионным запуском, свидетельствуют об отсутствии четкой корреляции между показателями стабильности работы магнетрона и величиной тока автоэлектронной эмиссии. Величина тока автоэлектронной эмиссии по окончании тренировки магнетрона часто оказывается меньше величины тока термоэлектронной эмиссии, которая необходима для возбуждения магнетрона. Поэтому можно сделать вывод о том, что механизм образования пространственного заряда, вероятно, отличается от описанного в [1, 2]. Объяснить это можно предположив, что нитевидные кристаллы являются автоэлектронными эмиттерами первичных электронов. По мере повышения температуры нитевидные кристаллы могут совершить переход в режим эмиттеров с автоэлектронной, термоавтоэлектронной или взрывной эмиссией [6]. Не все аспекты процесса образования нитевидных кристаллов ясны, но ряд исследователей отдает предпочтение модели пар - жидкость - кристалл. Эта модель позволяет объяснить изменение во времени величины тока автоэлектронной эмиссии при

работе в скрещенных полях и при отсутствии магнитного поля.

В скрещенных полях за счет увеличенного времени жизни электронов возрастает вероятность ионизации паров бария в прикатодной области. Ионы бария, оседая на поверхности рабочей кромки АЭЭ, формируют острийные элементы (нитевидные кристаллы), которые быстро застраивают кромку лезвия. В отсутствие магнитного поля разрушенные взрывной эмиссией нитевидные кристаллы не восстанавливаются вследствие резкого уменьшения потока ионов бария на катод (мала вероятность ионизации). Согласно [7] для возникновения на острийных элементах процесса взрывной эмиссии необходимо время  $10^{-10} \dots 10^{-9}$  с. Поскольку, минимальная длительность фронта модулирующего импульса находится в пределах интервала  $5 \cdot 10^{-8} \dots 10^{-7}$  с, то не видно препятствий для возникновения взрывной эмиссии в безнакальном магнетроне. Практически в любом магнетроне электроны приобретают достаточную для ионизации энергию. Это позволяет с уверенностью говорить о возможности создания в магнетроне условий, при которых скорость процесса разрушения нитевидных кристаллов взрывной эмиссией не превосходит скорость их восстановления. В настоящее время эта задача решается экспериментально методом проб.

Температура ВЭЭ в рабочем режиме находится ниже  $500^\circ\text{C}$ . Тепловое испарение материалов катода незначительно, и интенсивность образования нитевидных кристаллов определяется в основном концентрацией в пространстве взаимодействия продуктов катодного распыления. Сравнительная оценка распыляемости вещества осуществляется с помощью коэффициента распыления - количества атомов вещества, выбитых одним ионом. Величина коэффициента распыления является функцией многих переменных: энергии, массы и угла падения иона, атомного веса и теплоты возгонки распыляемого вещества, номера его иона.

Существующие представления о механизме катодного распыления, удовлетворительно объясняют его довольно сложные закономерности. При объяснении часто используют эмпирические коэффициенты или параметры, которые применимы в узких интервалах энергий ионов и для конкретных типов соударений [8]. Почти все теории не учитывают кристаллическую структуру металлов. Значительный объем информации о применении катодного распыления в науке и технике практически не содержит сведений, необходимых для непосредственного применения при решении обсуждаемой проблемы.

Из литературных источников известно, что долговечность автоэмиссионных катодов уве-

личивалась при уменьшении давления остаточных газов и обратной бомбардировке электронами, а также в случае применения устойчивого к катодному распылению материала. Реальные последствия катодного распыления в рассматриваемом магнетроне будут отличаться от описываемых в литературе экспериментов вследствие различий структуры электронных оболочек, атомного номера, энергии и плотности тока ионов, наличия обратной бомбардировки катода электронами с широким спектром скоростей. В магнетроне ионной бомбардировке одновременно подвергаются источники эмиссии, которые отличаются по физическим свойствам и природе. Причем плотность потока ионов на рабочую поверхность ВЭЭ и АЭЭ может отличаться значительно, в соответствии с плотностью концентрации силовых линий электрического поля на кромке лезвия АЭЭ и на поверхности ВЭЭ, может отличаться значительно.

Установлено, что при облучении твердых тел ионами имеет место эмиссия частиц преимущественно в виде нейтральных атомов [8]. Атомы выходят не только из поверхностного слоя, но и из глубины (до 10 атомных слоев) вещества, и чем глубже ионы проникают в металл, тем большую кинетическую энергию получают выбиваемые атомы. Разброс атомов по скоростям в свою очередь обуславливает разброс по скоростям образовавшихся из них ионов. Зависимость коэффициента распыления от энергии бомбардирующих ионов имеет четко выраженный максимум. Причем коэффициент распыления для легких ионов достигает максимального значения при меньших энергиях, чем для тяжелых ионов. Есть основание предполагать, что при металлотермическом ВЭЭ в образовании нитевидных кристаллов участвует не только распыляемый барий, но и образующиеся в процессе изготовления материала ВЭЭ фракции-примеси. Перечисленные факторы могут создавать условия для «строительства» «каркаса» нитевидных кристаллов из материала примесей, вводимых в структуру ВЭЭ.

Долговечность магнетрона с холодным катодом определяется стойкостью комплекса эмиттеров в виде ВЭЭ и АЭЭ к катодному распылению. В ранних безнакальных магнетронах с импрегнированным ВЭЭ фактором, который ограничивает долговечность, было падение коэффициента вторичной эмиссии вследствие катодного распыления поверхностной пленки бария. Для восстановления величины коэффициента вторичной эмиссии достаточно было кратковременно включить напряжение накала холодного катода с импрегнированным ВЭЭ. Температура ВЭЭ при этом не превышала 500°C. Предложенная в [9] замена импрегнированного ВЭЭ металлотермическим эмиттером на основе Pd-Ba не в полной мере оправдала прогноз разработчиков. Не-

обходимость периодического включения накала ОХК сохранилась. В данном случае фактором, ограничивающим долговечность магнетрона, оказалось падение величины автоэмиссионного тока. Если последнее предположение верно, то можно, по-видимому, говорить об установлении одной из причин, ограничивающих применение автоэмиссионного запуска в безнакальных магнетронах. Минимальная величина анодного напряжения  $U_a$ , при котором возможна реализация автоэмиссионного запуска магнетрона, расположена в области его значений до перехода автоэмиссии во взрывную. Естественно, энергия ионов, которые бомбардируют ВЭЭ, должна быть достаточной для обеспечения условий «строительства» нитевидных кристаллов.

Замена импрегнированного ВЭЭ металлотермическим на основе сплава Pd-Ba привела к уменьшению эмиссионной способности как ВЭЭ, так и АЭЭ. При этом величина тока термоэлектронной эмиссии при активировании ВЭЭ посредством нагрева в процессе откачки магнетрона уменьшилась в 5...10 раз. Уровень автоэмиссионного тока в диодном режиме без магнитного поля упал до критически малой величины. В генераторном режиме уменьшилась стабильность возбуждения автоколебаний, о чем свидетельствовало увеличение флюктуаций фронта высокочастотного импульса, которые переходят в пропуски импульсов при максимальных значениях тока анода. Причина этого обусловлена, вероятно, следующим. Сплав Pd-Ba характеризуется достаточно малой величиной плотности тока термоэлектронной эмиссии (не более  $10^{-6}$  А/см<sup>2</sup>) [10]. Активный металл (Ba) в этом сплаве запасен преимущественно в виде интерметаллического соединения Pd<sub>5</sub>Ba, которое является источником монокристаллической пленки бария на поверхности сплава [11]. Исследованиями [12, 13] установлено уменьшение работы выхода ВЭЭ на основе сплава Pd-Ba при бомбардировке ионами. Оно является результатом более высокой скорости распыления Pd по сравнению со скоростью распыления Ba. Уменьшение количества Ba в продуктах катодного распыления приводит к уменьшению образования нитевидных кристаллов на рабочей кромке лезвий АЭЭ, а следовательно, и тока автоэлектронной эмиссии. Вследствие более высокой теплопроводности сплава Pd-Ba (по сравнению с теплопроводностью вольфрамовой губки импрегнированного ВЭЭ) произошло понижение температуры рабочей кромки лезвий АЭЭ, что отрицательно сказалось на процессе перехода туннельной автоэлектронной эмиссии во взрывную.

Экспериментальным путем установлено, что работоспособность магнетрона улучшается при размещении между плоскими кольцами элементов АЭЭ и цилиндрическими втулками эле-

ментов ВЭЭ холодного катода вольфрамовых прокладок. Объясняется это предотвращением эрозии элементов АЭЭ и ВЭЭ в области их контакта (при высоких температурах). Причина улучшения работоспособности магнетрона с конструктивной схемой катода Pd-Ba+W-Ta, по нашему мнению, заключается в следующем. Согласно [12] контакт Pd-Ba с Mo приводит к увеличению эмиссионной способности сплава даже при незначительной диффузии его атомов в сплав. Авторы [14] утверждают, что характер контактного взаимодействия систем Pd-Ba+Mo-Ta, Pd-Ba+W-Ta и Pd-Ba+Ta (т. е. без прокладок W и Mo) идентичен. При непосредственном контакте элементов АЭЭ из Ta со сплавом Pa-Ba область увеличения концентрации Ba во втулках ВЭЭ, которая находится в потенциальной «яме», практически не подвергается катодному распылению. Прокладки из W и Mo между элементами АЭЭ и ВЭЭ перемещают зону увеличенной концентрации бария в область, которая подвергается эффективной бомбардировке возвратными электронами. При увеличении напряженности электрического поля в этой области отмечается рост тока термоэлектронной эмиссии при активировании ВЭЭ. Из перечисленных материалов для прокладок W имеет наименьшую теплопроводность. Поэтому он в наибольшей степени способствует переходу автоэмиссии элементов АЭЭ из туннельной во взрывную.

Стабильное возбуждение автоколебаний в магнетроне имеет место при достижении режима ограничения тока анода пространственным зарядом в предгенерационном состоянии. При использовании импрегнированного ВЭЭ характерными являются увеличение эмиссии из элементов АЭЭ и уменьшение эффекта старения ВЭЭ вследствие уменьшения воздействия катодного распыления. Как следует из (1), при неизменной величине  $r_{АЭЭ} - r_{ВЭЭ}$  увеличение экранирующего слоя объемного заряда возможно за счет уменьшения индукции магнитного поля или за счет увеличения  $r_{ВЭЭ}$ . Но при этом уменьшается электронный КПД [15]. Более рациональным оказывается путь уменьшения  $r_{ВЭЭ}$ . Согласно [15] уменьшение  $r_c$  приводит к росту электронного КПД и ухудшает стабильность возбуждения. При одновременном уменьшении  $r_{ВЭЭ}$  и  $U_a$  возможно сохранение уровня выходной мощности и увеличение экранирующего слоя. При этом величина  $r_a - r_c$  остается практически неизменной, и как следствие, сохраняется устойчивое возбуждение автоколебаний в магнетроне.

Усиление обратной бомбардировки катода одновременно с повышением уровня вторичной эмиссии увеличивает катодное распыление, которое стимулирует образование иголь-

чатых катодов на кромке АЭЭ. Рост энергии возвращающихся на катод электронов достигается за счет увеличения интенсивности колебательных процессов во втулке пространственного заряда [5]. При фиксированном напряжении анода к этому ведет увеличение диаметра катода. Усиление колебательных процессов во «втулке» пространственного заряда вызывает увеличение ее диаметра, что позволяет увеличить и величину  $r_{АЭЭ}$  относительно  $r_c$ . Этот путь может оказаться предпочтительнее при металлосплавном эмиттере ВЭЭ.

В настоящее время отсутствуют рекомендации-критерии выбора параметров эмиттера ВЭЭ, обеспечивающих формирование необходимой величины взрывной эмиссии с нитевидных кристаллов. По утверждению М. Ф. Копылова, минимально необходимые для возбуждения магнетрона величины тока АЭ (при использовании ОХК с ВЭЭ) и тока термоэлектронной эмиссии (при использовании основного термоэлектронного катода) имеют одинаковое значение. Поэтому заключение о необходимом для запуска магнетрона уровне тока АЭ делается по результатам определения минимальной температуры основного термоэлектронного катода и соответствующей ей величины термоэлектронной эмиссии, при которой осуществляется стабильный запуск магнетрона. Эта точка зрения представляется ошибочной по следующей причине. Не отрицая общепринятого представления о существенном (решающем) вкладе вторичной эмиссии в формирование режима ограничения тока пространственным зарядом, М. Ф. Копылов не принял во внимание значительную разницу во времени, отведенном на «размножение» первичных электронов, эмитированных при термоэлектронной эмиссии и автоэлектронной эмиссии.

Предлагаемая М. Ф. Копыловым сравнительная оценка эмиссионной способности АЭЭ по величине тока автоэлектронной эмиссии при  $0,8U_a$  (в отсутствие магнитного поля) не содержит в себе полезной информации. Величина тока автоэлектронной эмиссии как технологический параметр может представлять интерес только для режима отсутствия экранировки АЭЭ пространственным зарядом. В предгенерационном режиме граница виртуального катода  $r_0$  связана с величинами индукции магнитного поля  $B$  и напряжения анода соотношением [4]:

$$U_a = \frac{\omega_{II} B}{8} r_0^2 \left( 1 - \frac{r_k^2}{r_0^2} \right) \left[ 2 \left( 1 + \frac{r_k^2}{r_0^2} \right) \ln \frac{r_a}{r_0} + \left( 1 - \frac{r_k^2}{r_0^2} \right) \right],$$

где  $\omega_c$  - циклотронная частота;  $r_k$  - радиус катода;  $r_a$  - радиус анода.

Для известных типов безнакальных магнетронов с автоэмиссионным запуском состояние  $r_0 \geq r_{AЭЭ}$  по расчету наступает при  $U_a$  существенно меньшем 0,8 рабочего значения.

Процесс создания (накопления) пространственного заряда, обеспечивающего в магнетроне режим ограничения тока пространственным зарядом, в основном должен быть закончен в предгенерационный период (для магнетрона импульсного действия - на фронте модулирующего импульса). Существенную роль в процессе накопления объемного заряда в пространстве взаимодействия магнетрона с холодным катодом играют концевые области с неоднородными полями возле боковых фокусирующих экранов [16]. Поскольку согласно [5] уровень бомбардировки катода магнетрона претерпевает «малозаметное изменение при переходе порога генерации колебаний», можно предположить его сохранение и в отсутствие резонаторной системы, в так называемом статическом магнетроне (диоде без резонаторной системы). С помощью лабораторного макета КМ 2-см диапазона длин волн установлено, что весьма близки режимы по току анода, при которых наблюдается увеличение неустойчивости спектра частот генерирующего магнетрона и появляется неустойчивость импульса тока (амплитуды и фронта) в статическом магнетроне. При дальнейшем увеличении  $I_a$  в магнетроне появлялись пропуски высокочастотных импульсов, а в статическом магнетроне - пропуски импульсов тока анода.

Исходя из этого, предлагается за критерий годности параметров пространства взаимодействия АЭЭ и ВЭЭ принять необходимость обеспечения рабочего значения  $I_a$  при рабочих значениях анодного напряжения  $U_a$  и магнитного поля  $B$  в статическом магнетроне с идентичными размерами пространства взаимодействия, АЭЭ, ВЭЭ и топографией магнитного поля в пространстве взаимодействия. При таком подходе к оценке катода отпадает необходимость в изготовлении и предварительной отработке параметров колебательной системы магнетрона.

Для магнетронов миллиметрового диапазона с режимом работы на пространственных гармониках характерна меньшая величина отношения  $U_a/U_c$ . Она может достигать значения  $U_a/U_c = 2$ . И. М. Вигдорчиком и В. П. Тимофеевым (ИРЭ АН УССР) установлено, что в магнетронах на пространственной гармонике, которые работают вблизи критического режима, также как и в магнетронных диодах с идентичной гео-

метрией, величины максимальных токов практически совпадают [17].

В настоящее время безнакальные магнетроны с автоэмиссионным запуском нашли применение в реальных современных радиоэлектронных системах, и на практике подтвердили свое преимущество. Например, магнетрон «Бутон» [18], выпускаемый заводом «Генератор» (г. Киев), уже обеспечил безотказную работу в серийной РЛС более 30 000 час. Вместе с тем приходится констатировать, что наши представления о физических процессах в магнетроне с ОХК и автоэмиссионным запуском относительно процесса формирования объемного заряда в его пространстве взаимодействия во многом остаются недостаточными для решения широкого круга практических задач при разработке и создании магнетронов миллиметрового диапазона волн.

1. Пат. 2007777. Российская Федерация. Н01 J 25/50. Магнетрон / М. Ф. Копылов, Б. В. Бондаренко, В. И. Махов, В. А. Назаров. 15.02.1994, Бюл. №3.
2. Пат. №19702. Украина. Н01 J 25/50. Магнетрон / В. Д. Ерёмка, В. П. Дзюба, Н. Н. Захрабов, А. Ф. Токовенко, А. П. Митник. 15.01.2007. Бюл. №1.
3. Okress E. (ed. in chief). Crossed Field Microwave Devices. - N.Y. and London: Academic Press. - 1961. - 2. - P.268-279.
4. Бычков С. И. Вопросы теории и практического применения приборов магнетронного типа. - М.: Сов. радио, 1967. - 216 с.
5. Okress E. Crossed Field Microwave Devices. - N.Y. and London: Academic Press. - 1961. - 1. - P.157-180.
6. Носов А. А. Термоавтоэлектронная эмиссия нитевидных кристаллов при их формировании // XVIII Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике: Тез. докл. - М., 1981. - 111 с.
7. Костюк Г. И. О динамике эмиссионных процессов на острейном катоде // XVIII Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике: Тез. докл. - М., 1981. - 117 с.
8. Плишевцев Н. В. Катодное распыление. - М.: Атомиздат, 1968. - 285 с.
9. Пат. 2019877. Российская Федерация. Н01 J 1/32. Магнетрон с безнакальным катодом / Ю. А. Пипко, Л. А. Семенов, Л. М. Марголис и др. 15.09.1994. Бюл. №17.
10. Djubua D. Ch., Ilyin V. N., Koultashev O. K. Venal-Alloyed Cathodes for High-Power // IVESC'1996. Conf. Dig. - Eindhoven. The Netherlands. - 1996. - P.215-216.
11. Дмитриева В. Н., Есаулов Н. П. Исследование фазового состава сплавов платина-барий и палладий-барий // Благородные металлы и их применение. - 1971. - Вып.28. - С.58.
12. Дюбуа Б. Ч. Металлосплавной «холодный» вторично-эмиссионный катод // Радиотехника. - 2006. - №3. - С.31-34.
13. Гнучев Н. М., Каничева И. Р., Курсанова Т. С. Влияние ионной бомбардировки на термоэмиссионные свойства сплава палладия с барием // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. - 1990. - Вып.12. - С.131-133.
14. Есаулов Н. П., Марин В. П. Взаимодействие сплава Pd-Wa с танталом, вольфрамом и молибденом // Электронная техника. Сер. Материалы. - 1991. - Вып.8. - С.18-23.
15. Коваленко В. Ф. Введение в электронику сверхвысоких частот. - М.: Сов. радио, 1955. - 256 с.
16. Грицаенко С. В., Ерёмка В. Д., Копоть М. А. и др. «Многорезонаторные магнетроны с холодным вторично-эмиссионным катодом: достижения, проблемы, перспективы» // Радиофизика и электроника. - Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. - 2005. - 10, спец. вып. - С.3-37.
17. Вигдорчик И. М., Тимофеев В. П. Исследование максимальных токов в магнетронном диоде с холодным катодом // Журнал техн. физики. - 1974. - 44, №1. - С. 221-223.

18. Yeryomka V. D., Dzyuba V. P. Coaxial cold-cathode magnetron // IVEC'2004, Conf. Dig. - Monterey, USA. - 2004. - P.246-247.

ON THE PHYSICAL PROCESSES IN THE PRODUCTION OF A SPACE CHARGE IN A HEATING-FREE MAGNETRON WITH FIELD EMISSION TRIGGERING

A. A. Gurko, V. D. Yeryomka,  
V. D. Naumenko, N. I. Skripkin

Consideration is being given to possible physical processes in producing a volume charge in the interaction space of the heating-free magnetron with a main cold cathode and secondary-electron emitter triggered with primary electrons emitted by the field electron emitter of an ancillary cathode. A procedure is proposed for assessing the conditions under which the space charge restricted current regime occurs.

**Key words:** magnetron, cold cathode, secondary-electron emission, field electron emission, space charge restricted current regime.

ПРО ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ УТВОРЕННІ ПРОСТОРОВОГО ЗАРЯДУ В БЕЗНАКАЛЬНОМУ МАГНЕТРОНІ З АВТОЕМІСІЙНИМ ЗАПУСКОМ

О. О. Гурко, В. Д. Єрьомка,  
В. Д. Науменко, Н. І. Скрипкін

Розглядаються можливі фізичні процеси при утворенні об'ємного заряду в просторі взаємодії безнакального магнетрона з основним холодним катодом і повторно-електронним емітером, запуск якого здійснюють первинними електронами, емітованими автоелектронним емітером додаткового катоду. Запропоновано методику оцінки умов виникнення режиму обмеження струму просторовим зарядом

**Ключові слова:** магнетрон, холодний катод, повторно-електронна емісія, автоелектронна емісія, режим обмеження струму просторовим зарядом.

*Рукопись поступила 29 ноября 2007 г.*