

УДК 621.385.6

Моделирование черенковского и дифракционного излучений на периодических металлодиэлектрических структурах

Г. С. Воробьев, В. О. Журба, М. В. Петровский, А. А. Рыбалко, Ю. В. Шульга

Представлена общая методика экспериментального моделирования черенковского и дифракционного излучений на периодических металлодиэлектрических структурах на основе идентификации волн пространственного заряда электронного потока с поверхностной волной диэлектрического волновода. Разработана и реализована схема экспериментальной установки миллиметрового диапазона волн, проведено моделирование основных режимов возбуждения пространственных волн черенковского и дифракционного излучений, а также тестирование их путем сравнения с численным анализом.

PACS: 41.60.Vq

Ключевые слова: металлодиэлектрическая структура, черенковское излучение, дифракционное излучение, диэлектрический волновод, электронный поток.

Введение

В настоящее время вакуумная СВЧ-электроника в основном развивается по пути создания мощных источников электромагнитного излучения [1], которые востребованы в радиолокации, системах связи, ускорительной технике, высокотемпературной обработке материалов спектроскопии и т. д. Принципы построения таких приборов основаны как на классических методах преобразования энергии электронов в СВЧ-поля (клистроны, магнетроны, ЛОВ, ЛБВ), так и на радиационных эффектах, таких, например, как черенковское, циклотронное и дифракционное излучения (черенковские ЛОВ, мазеры на циклотронном резонансе, оротроны и генераторы дифракционного излучения).

Вместе с тем в радиоастрономических инструментах терагерцового диапазона волн предпочтение отдается твердотельным гетеродинным источникам колебаний в силу их компактности, малой массы и мощности потребления несмотря на небольшую величину выходной мощности, которая, например, на частоте 2 ТГц не превышает 1 мВт. Низкий уровень выходной мощности таких источников в значительной степени усложняет задачу создания смесителей [2].

В связи с этим несмотря на достигнутые успехи в создании мощных электровакуумных источников колебаний терагерцового диапазона волн [3] актуальным остается вопрос реализации низковольтных гетеродинных источников излучения, которые могли бы конкурировать с твердотельными генераторами по массо-габаритным показателям и потребляемой мощности, превосходя на порядок их выходные характеристики. К настоящему времени данный вопрос может быть решен путем использования в вакуумной электронике и СВЧ-технике планарных периодических металлодиэлектрических структур (МДС) [4], которые, в отличие от традиционных металлических периодических структур, имеют ряд специфических особенностей, связанных с возбуждением на МДС черенковского и широкого спектра пространственных гармоник дифракционного излучений [5].

Многообразие режимов возбуждения МДС и способов выделения из них оптимальных требует большого объема как экспериментальных, так и теоретических исследований. К настоящему времени построены численно-аналитические модели таких систем [5, 6], которые позволяют прогнозировать их электродинамические характеристики в первом приближении, проведено экспериментальное моделирование условий излучения для слоя диэлектрика полубесконечной толщины [5]. Поэтому вопросы разработки общей методики и экспериментальной установки для исследования электродинамических характеристик МДС с заданными геометрическими параметрами являются актуальными.

В данной работе представлено обоснование выбора режимов моделирования черенковского и

Воробьев Геннадий Савельевич, профессор.
Журба Вячеслав Олегович, старший преподаватель.
Петровский Михаил Васильевич, старший преподаватель.
Рыбалко Александр Александрович, аспирант.
Шульга Юлия Владимировна, аспирант.
Сумской государственный университет.
Украина, 40007, Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2.
Тел.: (0542) 78-03-18. E-mail: vp@sumdu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 4 апреля 2011 г.

дифракционного излучений на МДС конкретной геометрии, основные из которых реализованы по разработанной методике на универсальной экспериментальной установке миллиметрового диапазона волн и протестированы путем сравнения результатов эксперимента с численным анализом. Обсуждаются вопросы создания на базе МДС низковольтных генераторов и функциональных устройств миллиметрового, субмиллиметрового и терагерцового диапазонов волн, в том числе с применением современных нанотехнологий.

Обоснование выбора режимов моделирования

Теоретическое обоснование метода экспериментального моделирования дифракционного и черенковского излучений (ДЧИ) изложено в работе [5], где решены задачи в приближении заданного тока электронного потока (ЭП) и заданного поля диэлектрического волновода (ДВ) при возбуждении объемных волн на МДС. Исходя из идентификации относительных скоростей поверхностной волны ДВ — β_w и скорости электронов — β_e , общие условия излучения электромагнитных волн имеют следующий вид в далее раскрытых обозначениях:

$$\frac{\kappa}{|n| + \kappa} \leq \left\{ \beta_w \right\} \leq \frac{\kappa}{|n| - \kappa}; \quad (1)$$

$$\frac{\kappa}{|n| + \kappa \sqrt{\varepsilon}} \leq \left\{ \beta_e \right\} \leq \frac{\kappa}{|n| - \kappa \sqrt{\varepsilon}}, \quad (2)$$

где условие (1) соответствует излучению в вакуум, а условие (2) относится к излучению в диэлектрик.

Исходя из этих выражений, углы излучения электромагнитных волн в вакуум γ_{nv} и диэлектрик $\gamma_{n\varepsilon}$ для заданных параметров β_w и β_e определяются соотношениями:

$$\gamma_{nv} = \arccos \left(\sqrt{\varepsilon_0} + \frac{n}{\kappa} \right); \quad (3)$$

$$\gamma_{nv} = \arccos \left(\frac{1}{\beta_e} + \frac{n}{\kappa} \right); \quad (4)$$

$$\gamma_{n\varepsilon} = -\arccos \frac{\sqrt{\varepsilon_0} + \frac{n}{\kappa}}{\sqrt{\varepsilon}}; \quad (5)$$

$$\gamma_{n\varepsilon} = -\arccos \left(\frac{\frac{1}{\beta_e} + \frac{n}{\kappa}}{\sqrt{\varepsilon}} \right). \quad (6)$$

В соотношениях (1)—(6) использованы следующие выражения:

$\beta_w = v_w/c = 1/\sqrt{\varepsilon_w}$ — относительная скорость волны в волноводе;

v_w — фазовая скорость волны;

c — скорость света;

$\varepsilon_w = c^2/v_w^2$ — эффективная диэлектрическая проницаемость волновода;

$\beta_e = v_e/c$ — относительная скорость электронов;

v_e — скорость электронов;

$\kappa = l/\lambda$, где l — период решетки;

λ — длина волны излучения;

ε — относительная диэлектрическая проницаемость среды;

n — номер пространственной гармоники, которая излучается.

Из анализа соотношений (1) и (2) следует, что для параметров κ , β_e , β_w и ε в свободном пространстве возбуждаются только отрицательные пространственные гармоники с $n = -1, -2, -3, \dots$, а в диэлектрической среде — гармоники с $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Излучение на нулевой ($n = 0$) пространственной гармонике происходит при тех же условиях, что и черенковское излучение (ЧИ) электронного потока, движущегося вблизи незкранированной решеткой диэлектрика, т. е. при скоростях электронов $\varepsilon \beta_e^2 > 1$ с углом излучения $\cos \gamma_{0\varepsilon} = 1/(\beta_e \sqrt{\varepsilon})$. Поэтому такое излучение можно назвать черенковским, а решетку рассматривать как экранирующий фактор, влияющий на коэффициент связи ЭП или ДВ с диэлектрической средой [6].

Описанные выше режимы излучений можно наглядно проанализировать путем построения диаграмм Бриллюэна для заданных значений диэлектрической проницаемости среды [5]. Отметим наличие в настоящее время достаточно широкого спектра материалов, обладающих малыми потерями на СВЧ, которые могут использоваться как при экспериментальном моделировании (например, фторопласт, полистирол, поликор с малыми значениями ε), так и при рассмотрении вариантов создания низковольтных источников колебаний на основе МДС (высокие значения ε , например, керамические материалы оксидов бария и титана [7]). В качестве примера на рис. 1 в координатных осях κ и $\eta = \kappa/\beta_e$ (β_w) приведены диаграммы для двух значений ε , а именно, 2 и 100.

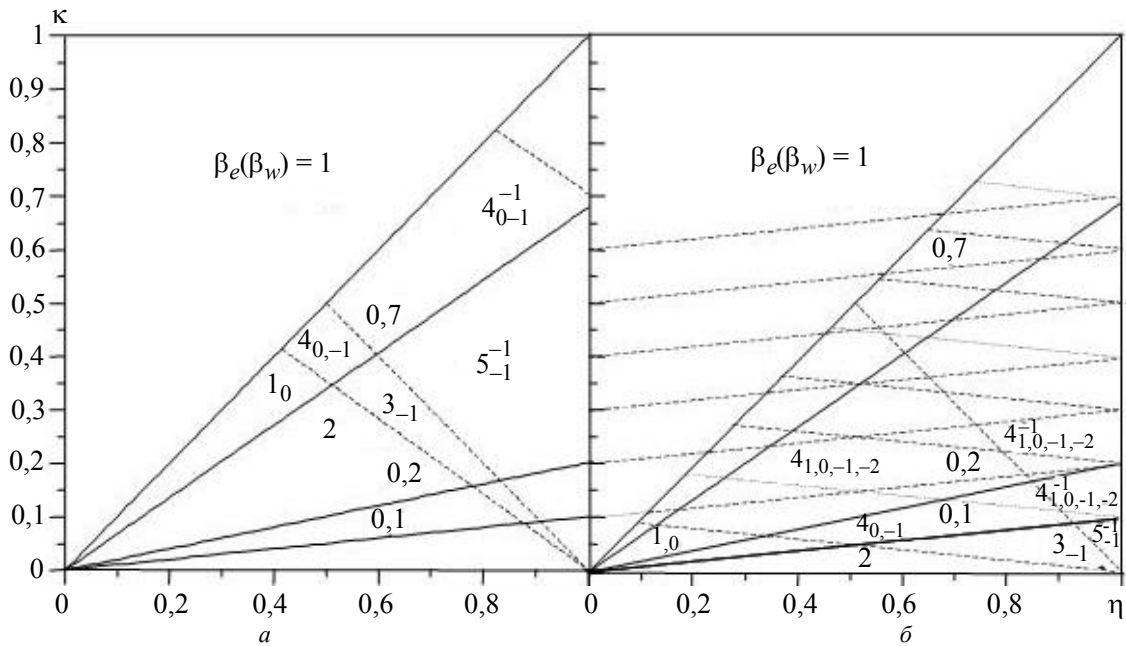


Рис. 1. Диаграммы Бриллюэна при возбуждении ДЧИ на МДС с относительными диэлектрическими проницаемостями: $a — \epsilon = 2; б — \epsilon = 100$

Диаграммы состоят из дискретных областей, обозначенных цифрами N_s^m ($N = 1 - 5$), которые определяют наиболее характерные случаи возбуждения электронным потоком (поверхностной волной диэлектрического волновода) электромагнитных волн. Нижние индексы $s = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ указывают номера пространственных гармоник, излучаемых в диэлектрик, а верхние индексы $m = -1, -2, \dots$ — в вакуум. Из приведенных диаграмм видно, что при заданных параметрах $\beta_e(\beta_w)$ и k в зависимости от ϵ можно реализовать разные режимы возбуждения ДЧИ и их моделирования. Так, в частности, для больших значений ϵ в области нерелятивистских ЭП появляется возможность реализации как режимов ЧИ, так и режимов ДЧИ, например, зоны $1_0, 4_{0,-1}, 4_{0,-1}^{-1}$ (рис. 1, б). При этом возникает излучение на положительных дифракционных гармониках, которое, как и ЧИ, направлено всегда под острым углом, например, зоны $4_{1,0,-1,-2}, 4_{1,0,-1,-2}^{-1}$. Но реализация таких зон для низковольтных ЭП невозможна, поскольку они лежат выше линии $\beta_e = 0,1$.

С точки зрения создания низковольтных источников излучения, практический интерес представляет зона 3_{-1} , в которой дифракционное излучение, подобно черенковскому, возникает только в диэлектрике структуры, но при значительно меньших скоростях электронов. Учитывая специфику условий возбуждения объемной волны такого режима, условно назовем его аномальным дифракционным излучением

(АДИ). При реализации низковольтных приборов типа ГДИ (оротрон) практический интерес представляет режим излучения в зоне 5_{-1}^{-1} (рис. 1, б).

Экспериментальная установка

В [5, 8] описаны схемы установок для исследования преобразования поверхностных волн ДВ в объемные на МДС полубесконечной толщины и на металлических периодических структурах, позволяющие решить только частные вопросы без учета специфики применяемых в реальных схемах приборов объектов, а именно, возможности присутствия объемных волн как в диэлектрике, так и за его пределами, влияния толщины диэлектрического слоя на характеристики излучения, необходимости автоматизированного контроля основных параметров волноводного тракта.

Комплексный экспериментальный стенд для определения электродинамических характеристик периодических неоднородностей различных модификаций (МДС, ленточных и отражательных металлических решеток) при возбуждении их поверхностной волной ДВ состоит из двух основных блоков (рис. 2): блока измерения волноводных характеристик (коэффициентов стоячей волны — КСВ, ослаблений и т. п.); блока измерения пространственных характеристик периодических структур (диаграмм направленности излучений в дальней зоне и амплитудных распределений полей в ближней зоне).

В состав блока измерения пространственных характеристик входит исследуемый объект, который, в нашем случае, как общий пример, пред-

ставляет собой диэлектрическую призму 1 с нанесенной на ее боковую поверхность ленточной дифракционной решеткой 2. Призма крепится на специальном юстирующем устройстве, позволяющем осуществлять ее пространственную ориентацию по осям x, y, z с точностью $\pm 0,1$ мм. Диэлектрический волновод 3 включается в согласующие переходы 4, которые через волноводы заданного сечения, определяемого исследуемым диапазоном волн, сопряжены с блоком регистрации волноводных характеристик и согласованной нагрузкой 5. В зависимости от параметров ДВ и МДС, как показано выше, возможны различные режимы трансформации поверхностных волн в объемные волны. Основные из них схематично представлены в виде диаграмм направленности излучения на рис. 2: γ — углы излучения системы МДС — ДВ, φ — углы соответствующих гармоник излучения в свободном пространстве после прохождения через диэлектрическую призму.

которого подключен к датчику угла поворота приемного рупора. Таким образом, при перемещении подвижной антенны, на графопостроителе фиксируется ДН излучения, которая после преобразования в цифровой вид, используется для компьютерной обработки полученных данных. Амплитудные распределения полей вдоль осей излучающей системы исследуются в ближней зоне излучений ($z \approx \lambda$) при помощи зонда 7, выполненного в виде диэлектрического клина, сопряженного со стандартным волноводным измерительным трактом через согласующий переход. Сигнал с зонда после детектирования поступает на ГП и проходит компьютерную обработку. Характерные размеры зонда составляли величину порядка $(0,1-0,2)\lambda$, что обеспечивало минимальные искажения полей при измерениях. Система индикации поверхностных полей устанавливалась на каретке перемещения, обеспечивающей точность отсчета по координатам x, y, z порядка $\pm 0,1$ мм.

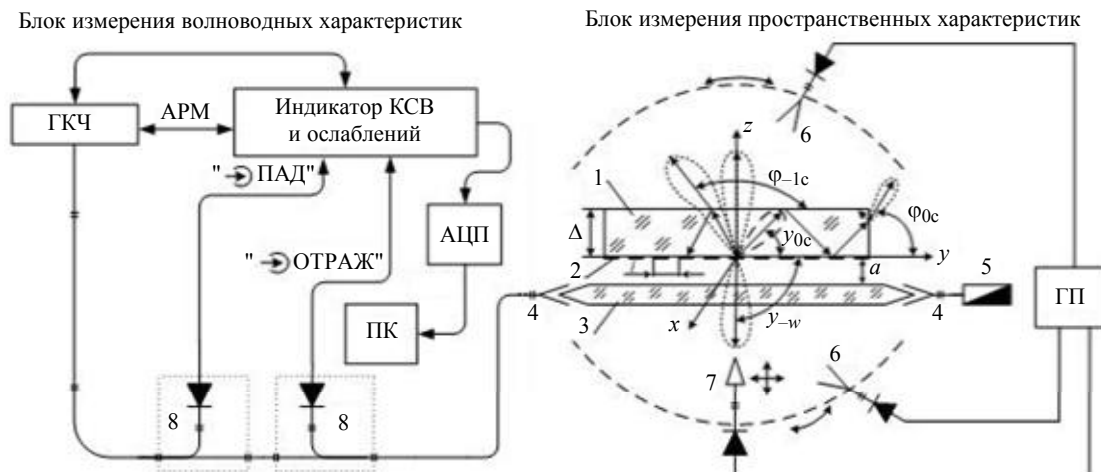


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

x, y, z — пространственные координаты, Δ — толщина диэлектрического слоя, a — расстояние между ДВ и ленточной решеткой 2 (так называемый прицельный параметр)

Блок измерения пространственных характеристик состоит из двух подвижных рупорных антенн 6, оси вращения которых в E -плоскости проходят через излучающую апертуру и совмещены с вертикальной осью решетки, а ось вращения в H -плоскости совпадает с продольной осью ДВ 3. Это обеспечивает регистрацию углов излучения φ в интервале $10-170^\circ$ с точностью $\Delta\varphi = +0,25^\circ$ в дальней зоне исследуемых полей, которая определяется известным соотношением $z \geq \frac{2}{\lambda} a_m^2$, где a_m — максимальный размер апертуры антенны, λ — длина волны излучения. В ходе измерения диаграмм направленности (ДН) сигнал, принимаемый рупором 6, поступал на вход "Y" двухкоординатного графопостроителя (ГП), вход "X"

Блок измерения волноводных характеристик (см. рис. 2) строился на основе стандартного панорамного измерителя КСВ и ослабления, который состоит из блока генератора качающей частоты (ГКЧ), индикатора КСВ и ослабления, направленных ответвителей 8 с детекторными секциями, подключенными к соответствующим разъемам индикатора КСВ. Варьируя способ включения ответвителей в измерительную линию, можно определять зависимости либо коэффициента передачи, либо КСВ в заданном диапазоне частот. Полученные результаты обрабатывались при помощи разработанного блока аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и поступали через шину USB в персональный компьютер для дальнейшей обработки результатов измерений. Постоянный уровень мощности на входе в исследуемый объект

обеспечивался автоматическим регулятором (АРМ), входящим в панорамный измеритель, а минимальные отражения на выходе ДВ — включением в измерительный тракт согласованной нагрузки 5. При необходимости измерения абсолютных уровней мощности в линии передачи использовались стандартные ваттметры, которые включались непосредственно в измерительный тракт вместо согласованной нагрузки.

Результаты моделирования

Описанная экспериментальная установка (см. рис. 2) была реализована в диапазоне частот $f = 53\text{—}80$ ГГц, что определило выбор панорамного измерителя КСВ и ослаблений типа P2-69 и волноводных трактов сечением $3,6 \times 1,8$ мм. Диэлектрические волноводы из фторопласта (сечением $5,2 \times 2,6$ мм) и полистирола (сечением $7,2 \times 3,8$ мм) позволили реализовать относительные фазовые скорости поверхностной волны в интервале $\beta_w = 0,6\text{—}0,8$ и возбудить на МДС из фторопласта три пространственные гармоники излучения, которые на диаграмме Бриллюэна (см. рис. 1, а) обозначены индексами 1_0 , 3_{-1} и $4_{0,-1}^{-1}$. Экспериментальные образцы МДС были реализованы на основе прямоугольных фторопластовых призм с поперечными размерами 54×60 мм (практически исключая влияние эффектов переотражений объемных волн от их торцов на характеристики ДЧИ) для трех значений Δ : $\Delta_1 \approx \lambda/4$, $\Delta_2 \approx \lambda/2$, $\Delta_3 \approx 4\lambda$. Требуемая точность нанесения ленточной дифракционной решетки на плоскость призмы достигалась применением процесса фотолитографии, обеспечивающего погрешность по периоду и ширине лент $\pm 0,01$ мм.

В частности, реализованные в эксперименте параметры МДС для трех основных режимов возбуждения пространственных волн на центральной частоте исследуемого диапазона, приведены в таблице.

Параметры исследуемых МДС

Режим возбуждения пространственных волн	l , мм	d , мм	κ	u	β
Черенковский: $n = 0$ — в диэлектрик	1,17	0,39	0,30	+0,5	0,788
Дифракционно-черенковский: $n = 0, -1, -2$ — в диэлектрик; $n = -1$ — в свободное пространство	3,07	1,535	0,79	0	0,788
Аномальный дифракционный: $n = -1$ — в диэлектрик	1,36	1,084	0,35	-0,8	0,598

Тестирование полученных результатов экспериментального моделирования проводилось численным методом, который заключается в построении конечно-разностной схемы решения системы

уравнений Максвелла в частных производных с учетом материальных уравнений [9].

В результате проведения серии экспериментов на МДС толщиной $\Delta \approx \lambda/4\text{—}4\lambda$ установлено, что для режимов моделирования ЧИ и ДЧИ максимальная интенсивность диаграмм направленности излучения наблюдается при толщине призмы, превышающей длину волны излучения. На рис. 3, а, б для $\Delta > \lambda$ в относительных единицах мощности P/P_{\max} (P_{\max} — максимальная мощность гармоники излучения с индексом n) представлены типичные диаграммы направленности излучений МДС, параметры которых приведены в таблице.

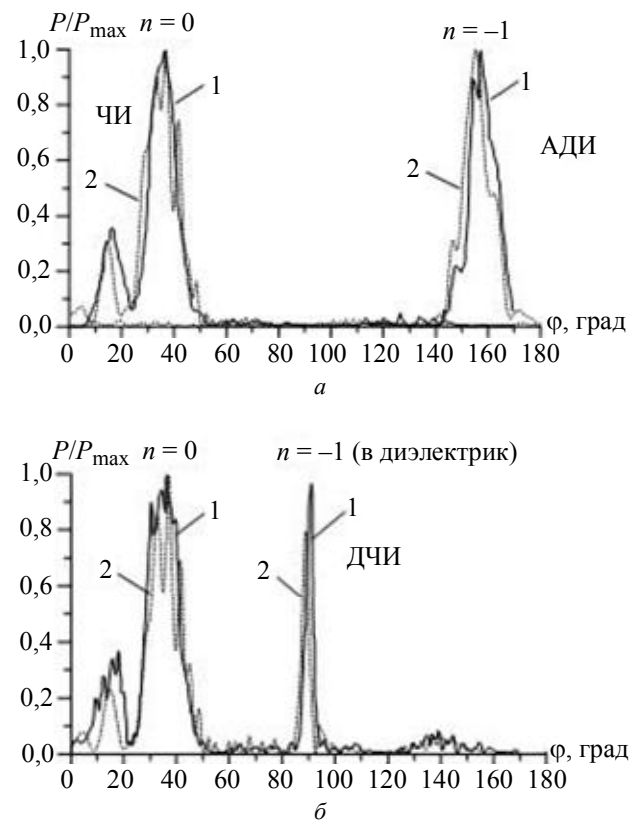


Рис. 3. Диаграммы направленности численного и экспериментального моделирования пространственных волн в МДС:

а — черенковский и АДИ режимы; б — дифракционно-черенковский режим (1 — эксперимент, 2 — теория)

Из графиков рис. 3, а видно, что для черенковского ($n = 0$) и аномального дифракционного ($n = -1$) режимов моделирования (графики 1 — сплошные линии) наблюдаются однолепестковые диаграммы направленности излучения в области углов, соответствующих результатам численного анализа методом конечных разностей (графики 2 — пунктирные линии). Отличие результатов численного анализа от эксперимента обусловлено приближенностью теоретической модели, которая не учитывает конечной проводимости ленточной решетки, а также технологические погрешности при изготовлении МДС.

О возможности применения МДС в практических схемах СВЧ-устройств

Описанные свойства МДС при возбуждении их электронным потоком или поверхностной волной ДВ позволяют проанализировать перспективы их применения как в различных модификациях электровакуумных приборов, так и при создании элементной базы СВЧ-техники, включая терагерцовый диапазон волн.

В настоящее время МДС на базе существующих диэлектриков [7] могут быть созданы практически с любым микронным периодом как путем применения традиционных методов фотолитографии в миллиметровом диапазоне, так и с использованием пучковой литографии в субмиллиметровом и терагерцовом диапазонах волн.

Так, например, электродинамические характеристики предложенных в [4, 10] устройств при возбуждении их поверхностной волной ДВ свидетельствуют о возможности построения на базе открытых резонаторов с МДС высокочастотных фильтров, стабилизаторов частоты и новых типов полупроводниковых генераторов. Проведенные в [11] теоретические и экспериментальные исследования показали перспективность использования МДС для организации вывода энергии из открытого волновода усилителя на эффекте Смита-Парселла. На базе МДС также может быть создан направленный ответвитель в планарном исполнении, общая схема реализации которого предложена в [12].

Идейным продолжением созданных низковольтных ЛОВ с многорядными замедляющими системами [1, 13] являются схемы генераторов, которые представлены на рис. 4.

Рис. 4, *а* демонстрирует схему выполнения низковольтного ГДИ (оротрона) с многорядной МДС при наличии трех пучков электронов. Расчетные параметры МДС соответствуют условиям излучения ЭП в зоне 5_{-1}^{-1} диаграммы Бриллюэна (см. рис. 1, *б*) под углами 90° . Схема рис. 4, *б* демонстрирует вариант выполнения ЛОВ на основе реализации АДИ для МДС (зона 3_{-1} на рис. 1, *б*). Стрелками условно показаны направления излучения пространственных волн на МДС.

Проведенные оценки параметров электродинамических систем [4, 10, 11], а также демонстрируемых на рис. 4 устройств, показывают, что структуры типа отражательная ДР-МДС или многорядные системы на основе МДС (рис. 4, *а, б*) при ускоряющих напряжениях $U \approx 1000$ В и значениях $\varepsilon = 100$ (например, керамика на основе оксидов титана [7]) могут быть реализованы в диапазоне длин волн $\lambda = 1-0,1$ мм при периодах $l \approx 62-4$ мкм. К настоящему времени технология изготовления таких структур в достаточной степени освоена и апробирована при изготовлении многорядных замедляющих систем в ЛОВ, где используются специальные способы формообразования, например, такие как электроэрозионная обработка, холодная штамповка, фотолитография, электронная и рентгенолитография, вакуумное и плазменное напыление пленок. При создании гетеродинных электровакуумных источников излучения, требующих реализации наноразмерных замедляющих систем, могут быть использованы новые методы пучковой ионной литографии [14] в сочетании с наностамповкой [15].

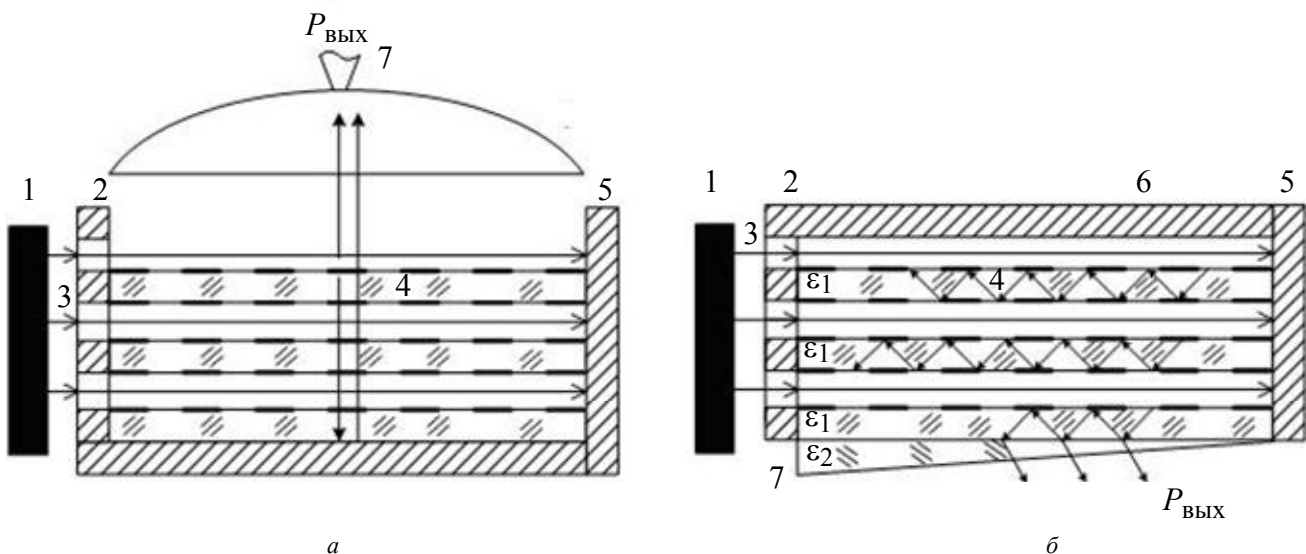


Рис. 4. Схемы выполнения низковольтных СВЧ-приборов с многосвязными МДС:

а — ГДИ (оротрон); *б* — ЛОВ (1 — катод, 2 — анод, 3 — ЭП, 4 — планарная периодическая МДС, 5 — коллектор, 6 — зеркало (экран), 7 — вывод энергии)

По оценкам работы [5], для реализации описанных выше приборов в субмиллиметровом и инфракрасном диапазонах толщину ЭП следует уменьшить до значений 0,04 мм. В настоящее время данный вопрос может быть решен за счет применения матричных полевых [16] и щелевых *L*-катодов [17], которые позволяют получить равномерную по площади и стабильную во времени электронную эмиссию с высокой плотностью тока при относительно невысоких напряженностях электрического поля.

Заключение

В работе представлен общий подход к методике экспериментального моделирования черенковского и дифракционного излучений на периодических металлодиэлектрических структурах, который позволяет достаточно оперативно исследовать электродинамические характеристики таких структур без применения громоздких численных методов. Данная методика реализована на экспериментальной установке миллиметрового диапазона волн и апробирована путем сравнения экспериментальных результатов с теоретическими. На основе традиционных и новых технологий производства электровакуумных СВЧ-приборов проведена оценка возможности реализации параметров планарных МДС, которые могут быть использованы в новых модификациях приборов типа ГДИ и ЛОВ субмиллиметрового и терагерцового диапазонов волн.

Литература

1. Вакуумная СВЧ-электроника: [сборник обзоров]. — Нижний Новгород: Институт прикладной физики РАН. 2002.

2. Финкель М. И., Масленников С. Н., Гольцман Г. Н. // Известия вузов. Радиофизика. 2005. XLVIII (10, 11). С. 964.

3. Электромагнитные волны терагерцового диапазона. — Новосибирск: Программа фундаментальных исследований Президиума РАН (Отчет № 29). 2005.

4. Vorob'yov G. S., Petrovskii M. V., Krivets A. S. // Radioelectronics and Communications Systems. 2006. V. 49. No. 7. P. 38.

5. Шестопалов В. П. Генераторы дифракционного излучения. — К.: Наук. думка, 1991.

6. Воробьев Г. С., Пушкарев К. А., Цык А. И. // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. № 2. С. 189.

7. Нанашева Е. А., Трубицина О. Н., Карпенко Н. Ф., Усов О. А. // Физика твердого тела. 1999. Т. 41. Вып. 5. С. 882.

8. Шестопалов В. П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. — К.: Наук. думка. 1985. (Открытые структуры. Т. 1).

9. Банков С. Е., Курушин А. А., Разевиг В. Д. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ-структур с помощью HFSS / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Банкова С. Е. — М.: СОЛОН-Пресс. 2004.

10. Vorobyov G. S., Petrovsky M. V., Ruban A. I. et al. // Telecommunications and Radio Engineering. 2007. No. 66 (20). P. 1839.

11. Vorobyov G. S., Krivets A. S., Petrovsky M. V. et al. // Ibid. 2003. No. 59 (10—12). P. 80.

12. Vorobyov G. S., Zhurba V. O., Krivets A. S., Krutko Yu. A., Rybalko A. A. // Instruments and Experimental Techniques. 2009. V. 52. No. 4. P. 551.

13. Касаткин Л. В., Рукин В. П., Еремка В. Д. и др. Электровакуумные приборы диапазона миллиметровых волн/ Под ред. Яковенко В. М., Ракитина С. П. — Севастополь: Вебер, 2007.

14. Watt F., Bettiol A. A., van Kan J. A. et al. // International Journal of Nanoscience. 2005. V. 4. No. 3. P. 269.

15. Ansari K., van Kan J. A., Bettiol A. A., Watt F. // J. Micro-mech. Microeng. 2006. V. 16. P. 1967.

16. Соловей Д. В., Сахарук В. Н., Новицкий А. М. и др. // 19-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо2009). — Севастополь: Вебер, 2009. С. 601.

17. Белоусов Е. В., Завертаный В. В., Нестеренко А. В. // Радиофизика и электроника. — Харьков: Институт радиофизики и электроники НАН Украины, 2006. Т. 11. № 2. С. 275.

Modelling of Cerenkov and diffractive radiations on the periodical metal-dielectric structures

G. S. Vorobyov, V. O. Zhurba, M. V. Petrovsky, A. A. Rybalko, Yu. V. Shulga
Sumy State University, 2 R.-Korsakov str., Sumy, 40007, Ukraine
E-mail: vp@sumdu.edu.ua

The general method of an experimental modelling of Cerenkov and diffractive radiations on periodical metal-dielectric structures is described. A multipurpose scheme of experimental apparatus, which is realized in the millimeter wave band, is also described. The modelling of basic regimes of excitation of spatial waves of Cerenkov and diffractive radiations has been carried out.

PACS: 41.60.Bq

Keywords: metal-dielectric structure, Cerenkov radiation, diffractive radiation, dielectric waveguide, electron beam.