

РЕЗОНАТОРНЫЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ СВЧ ЛАМП

Введение

В последние годы ведутся интенсивные исследования, связанные с разработкой и изучением процессов функционирования серных СВЧ ламп [1, 2]. Серные СВЧ лампы обладают рядом преимуществ по сравнению с другими источниками света: отсутствие электродов, высокая эффективность $\sim 25\%$, высокий цветовой индекс $\sim 70 - 80\%$, спектральные характеристики, близкие к солнечному свету [1]. Принцип их действия заключается в стимуляции СВЧ электромагнитным полем режима ионизации неона и ударном возбуждении молекулярной и атомарной серы ионами неона с последующим излучением фотонов. Минимальная напряженность поля, необходимого для возникновения объемного разряда в буферном газе, составляет величину $\sim 20 - 30$ кВ/м [1]. Существенные недостатки СВЧ ламп: необходимость в мощных источниках СВЧ излучения (от сотен ватт до киловатта и более) и, как следствие, их относительная недолговечность, обусловленная выработкой ресурса СВЧ источника, повышенные требования по обеспечению рабочего теплового режима, сложности сопряжения источника света, возбуждаемого СВЧ излучением со светонаправляющими элементами.

Цель работы – исследование возможностей использования резонансных нерегулярных СВЧ структур, возбуждаемых на высших типах колебаний, для формирования ионизирующих СВЧ полей в безэлектродных серных лампах.

Основная часть

В работах [3, 4] приведены результаты исследований высокочастотных типов колебаний в нерегулярных гибридных структурах. Показано, что добротности резонансов, возбуждаемых в таких структурах, могут достигать величин $10^3 - 10^4$. Особенностью рассматриваемых резонансных структур является то, что они обладают осевой симметрией, а их форма может одновременно соответствовать конструкциям светоотражающих и светонаправляющих зеркальных элементов источников светового излучения.

Конструкция резонатора приведена на рис. 1, а. Резонатор представляет собой коническую структуру, в узкой части которой расположен возбуждающий коаксиальный элемент. Амплитудно-частотная характеристика приведена на рис. 1, б.

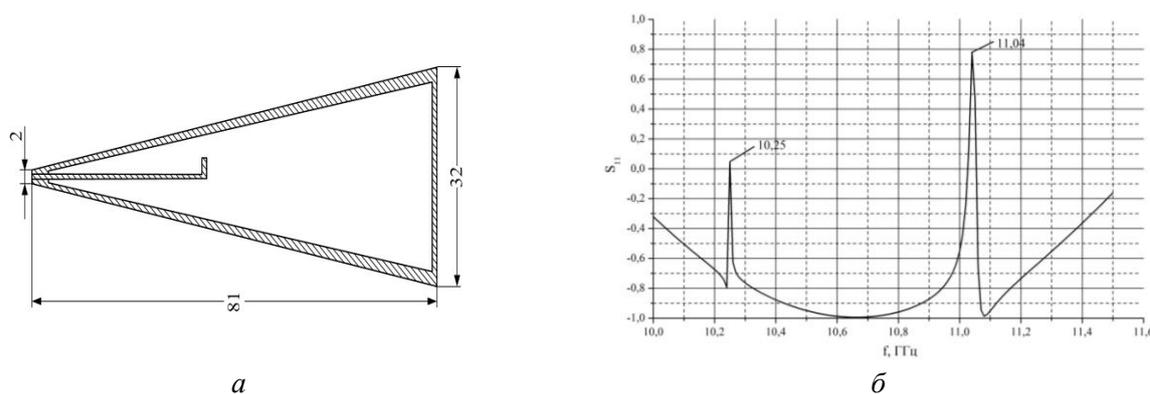


Рис. 1. Конструкция (а) и амплитудно-частотная характеристика (б) нерегулярной резонаторной структуры

Рассматриваемая структура имеет два ярко выраженных высокочастотных резонанса на частотах 10,25 и 11,04 ГГц. Последующий анализ показывает возможность достижения высоких значений напряженностей полей в областях формирования соответствующих резонансов. На рис. 2 и 3 приведены структуры полей в резонаторе при резонансах на частотах

10,25 и 11,04 ГГц, а также значения напряженностей электрического поля, достигаемые при различных величинах СВЧ мощности, вводимой в резонатор.

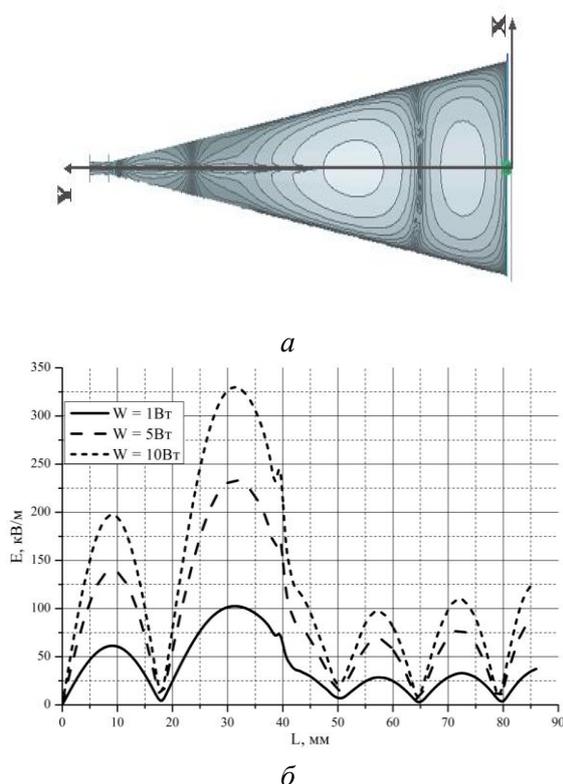


Рис. 2. Структура поля в резонаторе на частоте 10,25 ГГц (а) и значения напряженностей электрического поля на оси X по длине L (б)

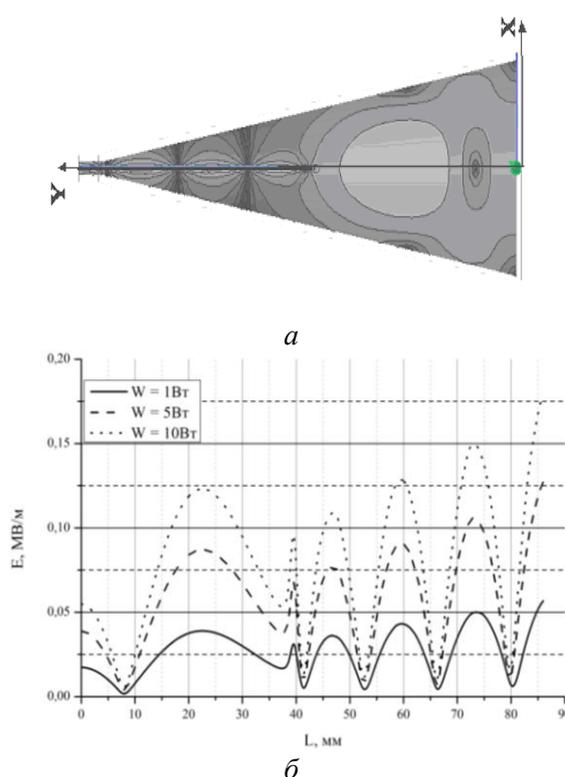


Рис. 3. Структура поля в резонаторе на частоте 11,04 ГГц (а) и значения напряженностей электрического поля на оси X по длине L (б)

Видно, что уже при мощностях накачки порядка нескольких ватт достигаются значения напряженностей электрических полей, достаточные для возникновения разряда в серосодержащей среде.

Уровни СВЧ мощности в единицы или даже в десятки ватт достигаются с помощью полупроводниковых генераторов, что открывает возможности снижения энергопотребления, повышения надежности и долговечности серных СВЧ ламп, а также создания малогабаритных источников света такого типа.

Анализ структуры полей, наблюдаемых в нерегулярных резонаторных структурах при резонансах, показывает, что в области размещения коаксиального проводника структура поля подобна структурам стоячих волн в коаксиальных линиях. Соответственно эта часть резонатора может быть трансформирована в подводящую коаксиальную линию с небольшой степенью нерегулярности для согласования с высокодобротным резонаторным объемом.

Геометрия области высокодобротного резонанса предлагаемых резонансных структур может быть адаптирована под требования формирования необходимого направленного светового излучения.

Численные исследования модельных резонаторных структур, геометрия которых приближена к геометрии направляющих световых отражателей, показывают, что возможность возбуждения высокодобротных типов колебаний в этом случае также сохраняется (см. рис. 4 – б).

Для структуры с геометрией усеченного конуса был получен резонанс на частоте 10,26 ГГц с добротностью порядка $1,41 \cdot 10^4$, который имел два максимума напряженности электрического поля (рис. 4).

Для подобной же структуры, но с закруглением усеченной части, также возбуждается резонанс с двумя максимумами напряженности на частоте $10,33 \text{ ГГц}$ с добротностью $\sim 1,55 \cdot 10^4$ (рис. 5).

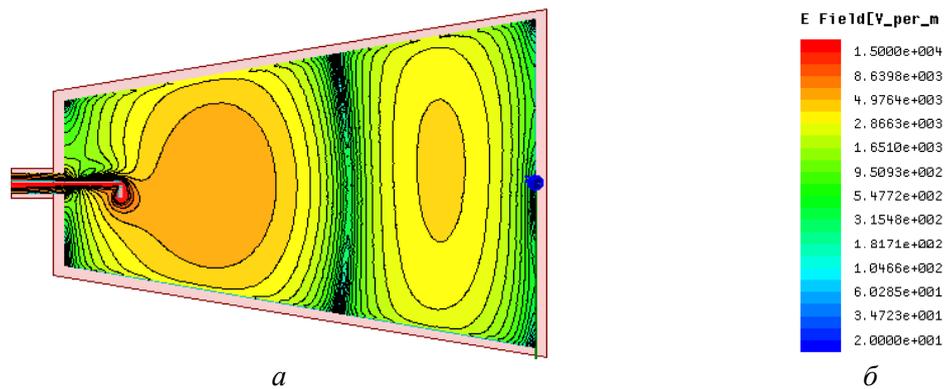


Рис. 4. Резонаторная структура с геометрией усеченного конуса:
a – распределение поля, *б* – величина напряженности поля

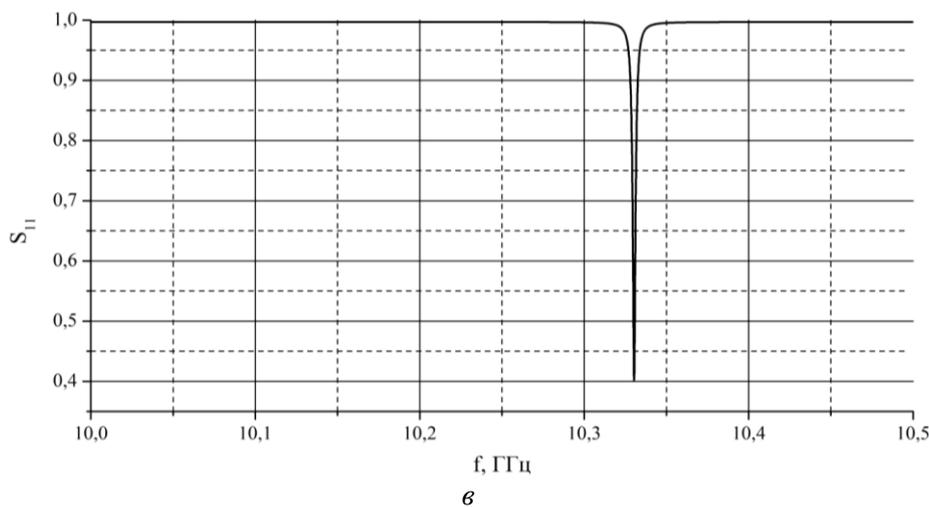
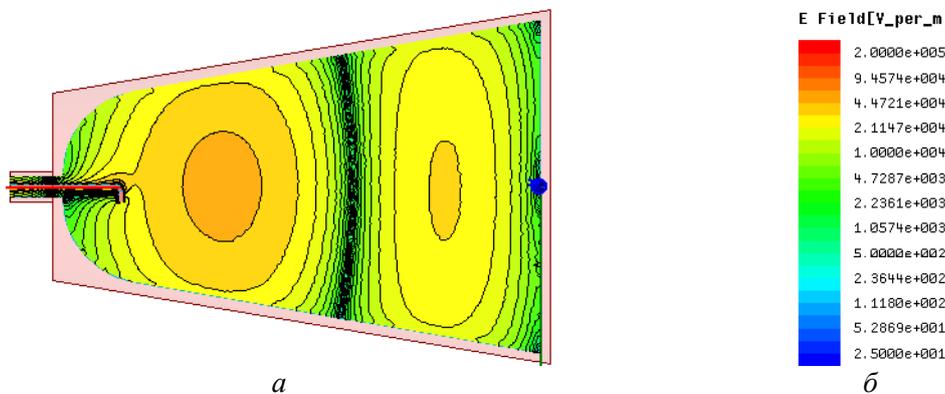


Рис. 5. Резонаторная структура с закруглением усеченной части:
a – распределение поля, *б* – величина напряженности поля,
в – амплитудно-частотная характеристика коэффициента отражения

Поскольку наличие второго максимума напряженности поля в рассматриваемой структуре не является необходимым, был проведен анализ укороченной резонаторной структуры с размерами: радиус скругленной части $R_c \approx 9,5 \text{ мм}$, наружный диаметр $D_n \approx 25,2 \text{ мм}$, длина $L \approx 25 \text{ мм}$ (рис. 6). При этом был получен резонанс на частоте $9,664 \text{ ГГц}$ с добротностью $\sim 1,19 \cdot 10^4$.

Так как рассматриваемые структуры предназначены для одновременного решения задач ионизации газа и формирования светового пучка, проведен анализ характеристик резонаторной структуры с имитатором колбы с ионизированным газом в виде проводника с высокой проводимостью, размещенного в области повышенной напряженности электрического поля (рис. 7). В этом случае также наблюдается резонанс на частоте $9,55 \text{ ГГц}$ с добротностью $\sim 0,72 \cdot 10^4$.

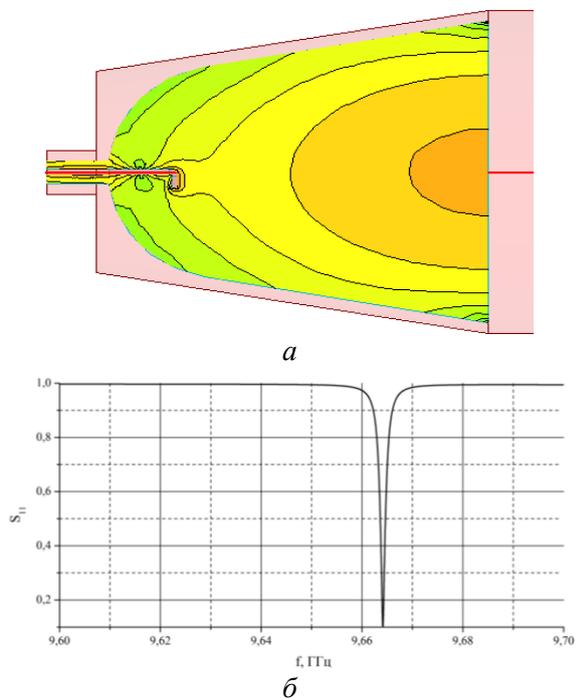


Рис. 6. Укороченная резонаторная структура:
а – распределение поля,
б – амплитудно-частотная характеристика коэффициента отражения

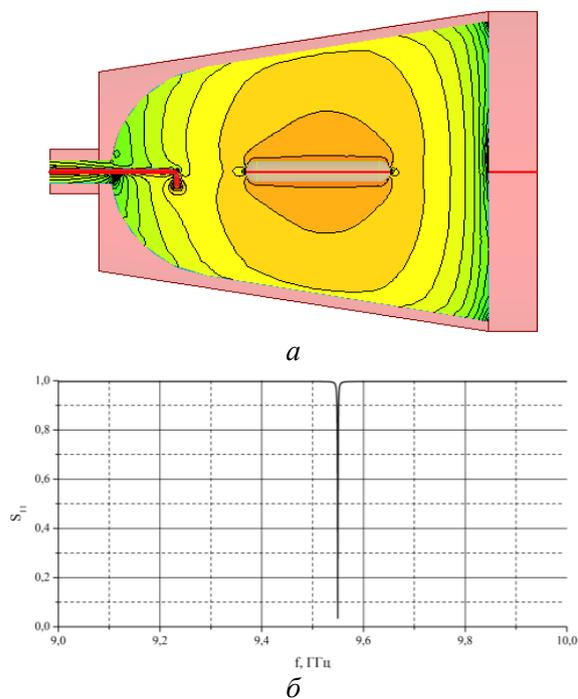


Рис. 7. Укороченная резонаторная структура с имитатором: *а* – распределение поля,
б – амплитудно-частотная характеристика коэффициента отражения

Выводы

На основе анализа процессов возбуждения нерегулярных резонансных структур на высших типах колебаний выявлена возможность достижения внутрирезонаторных напряженностей электрических полей, достаточных для возникновения разряда в серосодержащей плазме при уровнях мощности СВЧ сигнала накачки порядка десятков ватт.

Использование нерегулярных резонансных структур позволяет в единой конструкции совместить свойства, обеспечивающие высокодобротный СВЧ резонанс и формирование направленного светового излучения, существенно снизить требования к СВЧ источнику.

Полученные в работе результаты не могут быть прямым образом использованы при проектировании СВЧ ламп, однако, по мнению авторов, открывают дополнительные возможности их совершенствования и модернизации.

Список литературы: 1. Диденко А.Н. СВЧ-энергетика: Теория и практика / А.Н. Диденко; Отв. ред. Я.Б. Данилевич. – М. : Наука, 2003. – 446с. 2. Мачехин Ю.П. Безэлектродная серная лампа с СВЧ-накачкой / Ю.П. Мачехин, Г.И. Чурюмов, Е.Н. Одаренко и др. // Світлотехніка та Електроенергетика. – 2008. – Вип. 3. – С. 9-14. 3. Бондаренко И.Н. Высокодобротный коаксиальный нерегулярный резонаторный измерительный преобразователь / И.Н. Бондаренко, А.В. Галич // Радиотехника. – 2012. – Вып. 168. – С. 108-112. 4. Бондаренко И.Н. Высокодобротные типы колебаний в нерегулярных гибридных структурах / И.Н. Бондаренко, А.В. Галич, С.И. Троицкий // Радиофизика и электроника. – 2013. – Т. 4 (18), № 1. – С. 91-94.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 11.05.2013