

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе развит новый подход к решению актуальной задачи радиофизики, которая состоит в разработке линейной электродинамической модели, способной описать не только частоты, но и пороги излучения собственных электромагнитных полей в диэлектрических резонаторах с активными зонами. В рамках этой модели решены модифицированные задачи на собственные значения для нескольких важных типов двумерных диэлектрических резонаторов. Среди них - одиночные полностью и частично активные резонаторы круговой формы, связанные круговые резонаторы, а также полностью активные некруговые резонаторы.

По результатам работы можно сделать следующие основные выводы:

1. До последнего времени линейное электродинамическое исследование микролазерных диэлектрических резонаторов проводилось в рамках пассивной модели, то есть без учета наличия активной зоны. Это не позволяло отыскивать пороги излучения собственных мод и, тем самым, делало невозможным адекватную интерпретацию экспериментов и выработку рекомендаций по снижению порогов.
2. В данной диссертации задача о нахождении собственных мод открытых диэлектрических резонаторов впервые сформулирована таким образом, что позволяет учесть наличие активной зоны в резонаторе и, благодаря этому, найти спектры и пороги излучения мод как элементы собственных значений.
3. Впервые установлена, на основании уравнений Максвелла, простая аналитическая связь порога излучения моды в открытом резонаторе с ее добротностью и коэффициентом перекрытия активной зоны резонатора с полем моды.
4. Построены эффективные численные алгоритмы расчета частот и порогов излучения, а также полей мод в ближней и дальней зоне, для активных

круговых резонаторов, циклических фотонных молекул из них, а также двумерных резонаторов с произвольным гладким контуром.

5. Установлено, что в тонком одиночном микродиске есть низшие моды с высокими порогами излучения и моды шепчущей галереи с экспоненциально низкими порогами.
6. Показано, что, объединяя микродиски в циклические фотонные молекулы, можно добиться снижения порогов излучения супермод (связанных мод), построенных как на низших модах, так и на модах шепчущей галереи.
7. Обнаружено, что в структуре тонкий активный диск + пассивный кольцевой отражатель порог излучения супермоды может быть как ниже, так и выше, чем в одиночном диске. Это зависит от перекрытия поля с активной зоной. Порог резко возрастает при втягивании поля в пассивные области резонатора.
8. Продемонстрировано, что деформация тонкого микродиска в спиральный резонатор приводит к расщеплению мод на дублеты. При этом направленность излучения мод шепчущей галереи улучшается, однако их пороги излучения возрастают. Главным фактором является волновая высота ступеньки на контуре.
9. Полученные результаты позволяют рассматривать форму и расположение активной зоны в качестве параметров, с помощью которых можно управлять порогами излучения мод в диэлектрических резонаторах. Они также указывают, как можно понизить порог и повысить направленность излучения за счет изменения формы контура (для одиночных резонаторов) и свойств симметрии (для связанных резонаторов).

Построение математических и численных моделей, а также их верификация основывается на следующих элементах:

- введении в рассмотрение активной зоны, внутри которой находится активный материал, характеризуемый «отрицательным поглощением», а на границе выполняются условия непрерывности тангенциальных компонент электромагнитного поля;

- постановке математически корректной задачи на собственные значения, состоящие из упорядоченных пар вещественных чисел – частот и порогов излучения мод (мнимых частей показателя преломления в активной зоне);
- применении широко известного приближенного метода эффективного показателя преломления для понижения размерности задач для тонких диэлектрических резонаторов;
- сведении задач для собственных мод к трансцендентным уравнениям или к детерминантным уравнениям Фредгольма второго рода, что гарантирует дискретность собственных значений и сходимость алгоритмов их поиска;
- применении, для задачи о модах в резонаторе с произвольным гладким контуром, граничных интегральных уравнений Мюллера и экспоненциально сходящегося метода квадратур для их дискретизации;
- использовании двухпараметрического метода Ньютона для итеративного поиска собственных значений как корней полученных трансцендентных или детерминантных уравнений;
- численном контроле закона сохранения энергии (теоремы Пойнтинга) для собственных мод активных диэлектрических резонаторов;
- систематической проверке выполнения граничных условий для полей мод, а также предельного поведения собственных значений при переходе к простым конфигурациям.

Проведенные исследования открывают новое направление в электродинамике активных резонаторов. Развитый в работе подход можно применять к разнообразным моделям любых лазеров. Разработанные алгоритмы и выявленные закономерности могут использоваться для интерпретации экспериментальных данных и для поиска перспективных конфигураций путем предварительного численного моделирования.

Из наиболее интересных задач для дальнейших исследований можно указать построение трехмерных моделей активных дисковых резонаторов с помощью ИУ Мюллера, а также моделирование периодических резонаторов и резонаторов с активной зоной произвольной формы.