

А.П. КОРЕЦКИЙ, А.И. ЦВЫК, академик АН УССР В.П. ШЕСТОПАЛОВ

**ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ
В ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ ОТКРЫТОМ РЕЗОНАТОРЕ**

1. До настоящего времени свойства эллиптического открытого резонатора (ЭОР) изучены недостаточно. Это связано с тем, что строгая теория таких резонаторов только развивается [1], а существующие теоретические методы, основанные на приближении геометрической оптики [2], не в полной мере отражают физические процессы формирования колебаний в ЭОР. В то же время уже из полученных теоретических данных следует, что ЭОР обладают рядом особенностей. В частности, в ЭОР все лучи, вышедшие из одного фокуса, после отражения от эллиптического зеркала сходятся в другом фокусе; в ЭОР возбуждаются колебания, лучевые потоки которых ограничены сложными каустическими поверхностями: в эллипсоиде вращения в виде одно-двухполосных гиперboloидов и эллипсоида, а в цилиндрическом ЭОР в виде эллиптических и гиперболических поверхностей. При этом форма каустики возбуждаемого в ЭОР типа колебания зависит от расположения источников, эксцентриситета и расстояния S_f между фокусами эллиптического зеркала. Так, колебания с гиперболическими каустиками возбуждаются в ЭОР, если источники расположены между фокусами эллиптического зеркала, а колебания с эллиптическими каустиками — снаружи фокусов.

2. Нами обнаружено новое свойство ЭОР: при возбуждении колебания в ЭОР всегда возникают условия, при которых в фокальной плоскости резонатора образуется устойчивая интерференционная картина (ИК).

Это свойство следует из анализа процессов многократных отражений лучей от эллиптического зеркала резонатора. В точках отражения для каждого из фокусов эллиптического зеркала образуются их мнимые отображения, являющиеся источниками излучения — волновыми центрами. В цилиндрическом ЭОР эти источники сосредотачиваются на двух пересекающихся цилиндрических поверхностях радиусом $2a$ с центрами в фокусах эллипса, а в эллипсоиде вращения — на тороидальных поверхностях (при таком подходе подэра эллиптического зеркала ОР расположена в объеме пересекающихся поверхностей). В результате возбуждаются встречные цилиндрические (сферические) фронты волн, которые в фокальной плоскости ЭОР образуют ИК, подобную классической от двух нитеобразных (кольцевых) источников, расположенных в фокальной плоскости (на расстоянии S_f) в свободном пространстве. Эти выводы подтверждаются проведенными экспериментальными исследованиями.

3. Устройство, предназначенное для изучения интерференционных явлений в ЭОР в диапазоне 2–4,5 мм, показано на рис. 1. Здесь исследуемый ЭОР содержит отражатель 1 прямоугольной апертуры сечением $49,4 \times 40$ мм², выполненный в форме вогнутого эллиптического полуцилиндра, и плоский отражатель 2 с устройствами связи 3, 4 в виде одинаковых волноводных щелей сечением $0,1 \times 3,6$ мм². Эксцентриситет эллипса $e = 0,707$, размер большой оси $2a = 50$ мм, расстояние между оптическими фокусами $S_f = 35,35$ мм. Плоский отражатель 2 выполнен в виде двух одинаковых частей, которые скользят на каретках по общим направляющим вдоль оси ox . Ходовой механизм осуществляет их перемещение в противоположных направлениях, что позволяет изменять расстояние S между излучающей 3 и приемной 4 щелями связи в пределах 32–52 мм вдоль большой оси ЭОР. Для выяснения влияния на ИК внутреннего зазора между частями плоского отражателя предусматри-

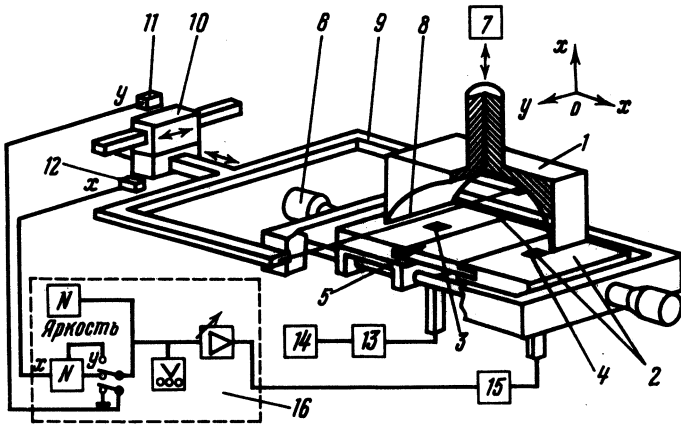


Рис. 1. Устройство для исследования интерференционных явлений в эллиптическом ОР миллиметрового диапазона. 1 – зеркало с поверхностью эллиптического цилиндра; 2 – части плоского зеркала; 3, 4 – волноводные щели связи; 5 – отражающая вставка; 6, 7 – механизмы перемещения плоского и эллиптического зеркал; 8 – пробное тело на нейлоновой нити; 9 – подвижная рамка с нитью; 10 – сканирующее устройство; 11, 12 – координатные датчики перемещения; 13 – волноводно-измерительный тракт; 14 – генератор СВЧ; 15 – приемный детектор; 16 – приборы контроля СВЧ-сигнала

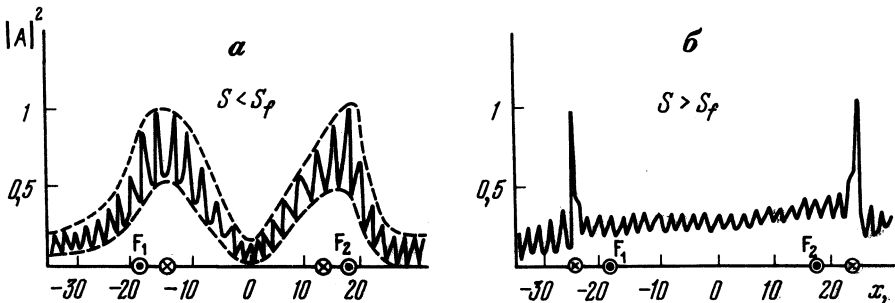


Рис. 2. Распределение амплитуды поля вблизи фокальной плоскости эллиптического ОР при различных условиях возбуждения колебаний: а – щели связи расположены между фокусами эллипса; б – за фокусами

валясь возможность введения заполняющих вставок 5, образующих с двумя плоскими отражателями одно сплошное плоское зеркало. Отражатели 1, 2 ориентировались зеркально-симметрично относительно малой полуоси эллипса, направленной вдоль оси oz резонатора; поле E на щелях связи было перпендикулярно образующей эллиптического цилиндра.

4. Исследование электромагнитного поля ЭОР проводили методом пробного тела [3], траектория перемещения которого проходила нормально фокусным линиям. Запитка ЭОР осуществлялась от ГДИ, а выходной сигнал через щель связи 4 и детектор 15 поступал в схему индикации 16, включающую осциллограф с длительным временем послесвечения, с экрана которого производилось фотографирование.

Экспериментально исследовался спектр возбуждаемых колебаний в ЭОР и распределение амплитуды поля вблизи фокальной плоскости в зависимости от расположения щелей связи резонатора относительно фокусов эллипса. Обнаружены

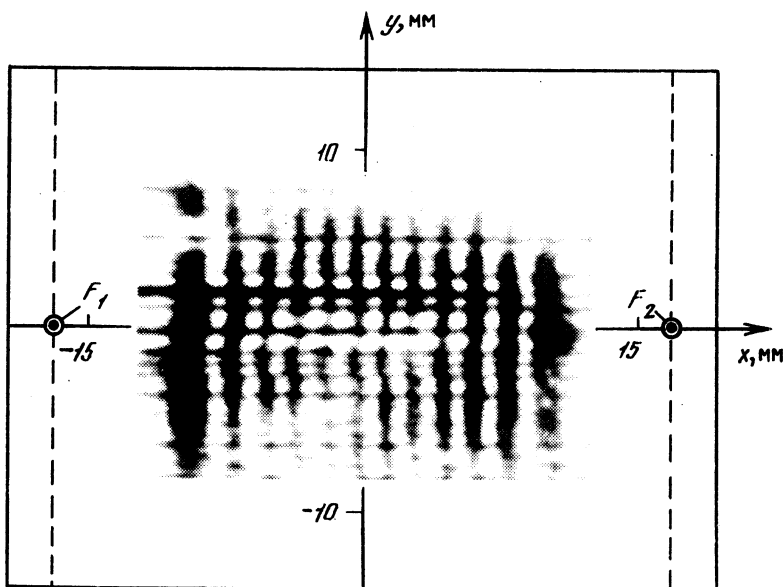


Рис. 3. Интерференционная картина колебания на частоте 147 ГГц в фокальной плоскости эллиптического ОР; несимметричное расположение щелей связи; F_1, F_2 — фокусы эллипса; $S < S_f$

три характерных случая возбуждения резонатора: внутрифокусное расположение щелей связи ($S < S_f$); фокусное, $S = S_f$; внефокусное, $S > S_f$. Резонансы наблюдаются в первом и третьем случаях и незначительно проявляются при $S = S_f$. Эти данные удовлетворительно согласуются с предсказываемыми в теории [2]: в первом случае возбуждаются колебания с гиперболической каустикой, а в третьем — колебания типа "шепчущей галереи" с каустикой в виде внутреннего эллипса, софокусного с эллиптическим зеркалом. При этом установлено, что во всех случаях возбуждение определенного типа колебания сопровождается четким выделением в фокальной плоскости ЭОР интерференционной картины. В частности, это проиллюстрировано рис. 2, где приведены экспериментальные зависимости распределения интенсивности поля в резонаторе вблизи ($z = 1,1$ мм) фокальной плоскости эллипса для первого и третьего случаев возбуждения колебаний. Здесь же вдоль оси ox (большая ось эллипса) выделены координаты фокусов и щелей связи (кружочек с точкой и крестиком соответственно). Приведенные на рис. 2а интерферограммы качественно совпадают с теоретическими, впервые полученными в классической физике для некогерентных источников в оптическом диапазоне [4]. Отметим, что для получения устойчивой ИК необходимо, чтобы источники электромагнитного поля имели одну и ту же частоту (в данном случае задаваемую генератором), а фазы отраженного от зеркала поля различались бы на некоторую постоянную величину, не зависящую от времени. Если источники различаются по фазам или фаза источников со временем изменяется, то получим размытую или сливающуюся в пятно интерференционную картину, характерную для частично когерентных источников. Следовательно, полученное при $S < S_f$ в ЭОР распределение амплитуды поля указывает на возбуждение резонатора источником с частичной когерентностью электромагнитного поля (для когерентного источника минимумы амплитуды поля на рис. 2а должны находиться на одинаковом "нулевом" уровне). Если $S > S_f$ (рис. 2б), то в области фокальной плоскости наблюдается равномерная ИК. Однако вблизи щелей

связи обнаружены пространственные резонансы с высокой концентрацией СВЧ-энергии в сверхузком пятне поля (порядка $\lambda/2$) на фокальной плоскости.

На рис. 3 показан общий вид ИК электромагнитного поля в цилиндрическом ЭОР, полученной в двухмиллиметровом диапазоне методом визуализации [3] при построчном сканировании пробным телом в фокальной плоскости эллипса. Видно, что в резонаторе наблюдается достаточно контрастная ИК, подобная классической от двух линейных параллельных источников, расположенных в свободном пространстве.

В заключение отметим, что экспериментально исследовалось также влияние различных геометрических параметров резонатора (расстояния между зеркалами, эксцентриситета, апертуры зеркал и др.) на устойчивость и контрастность ИК. Установлено, что в большинстве случаев в ЭОР сохраняется устойчивая ИК.

Таким образом, установлено новое свойство ЭОР — формирование в фокальной плоскости резонатора устойчивой ИК, которое необходимо учитывать при создании на базе ЭОР устройств дифракционной электроники, полупроводниковых СВЧ-генераторов, приборов в интерференционной спектроскопии. Кроме того, проведенный анализ формирования ИК в ЭОР устанавливает единый подход построения на базе цилиндрических или сферических ОР эффективных многозеркальных интерферометров, обеспечивающих контрастную ИК между двумя произвольными точками в пространстве [5]; в этом случае поверхности зеркал ОР должны совпадать с поверхностями расположения мнимых источников эллипса.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук УССР, Харьков

Поступило
10 IX 1986

ЛИТЕРАТУРА

1. Шестопалов В.П. Сумматорные уравнения в современной теории дифракции. Киев: Наук. думка, 1983. 251 с.
2. Вайнштейн Л.А. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М.: Сов. радио, 1977. 336 с.
3. Шестопалов В.П. Дифракционная электроника. Харьков: Вища шк., 1976. 231 с.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 719 с.
5. Техника спектроскопии в дальней инфракрасной, субмиллиметровой и миллиметровой областях спектра/Под ред. Т.М. Лифшица. М.: Мир, 1970. 399 с.

УДК 546.883'261 : 536.42

Ф И З И К А

В.Н. ЛИПАТНИКОВ, А.И. ГУСЕВ, А.А. РЕМПЕЛЬ,
член-корреспондент АН СССР Г.П. ШВЕЙКИН

ЭФФЕКТ СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА НА МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ КАРБИДА ТАНТАЛА

Известно, что физические свойства нестехиометрических карбидов переходных металлов весьма чувствительны к их структурному состоянию [1–7]. Среди этих соединений наименее изученным является нестехиометрический карбид тантала TaC_y ($1,0 \geq y \geq 0,74$) со структурой типа $B1$. Широкая область гомогенности и наличие большого числа структурных вакансий в TaC_y создают (в зависимости от внешних условий) предпосылки для статистического или упорядоченного распре-