

УДК 621.317.37

ЩЕЛЬ СВЯЗИ ОТКРЫТОГО РЕЗОНАТОРА — ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

A. A. Вертий, И. В. Иванченко, Н. А. Попенко

Рассматривается влияние щелевого и проволочного вибраторов размером $\lambda/2 < l < \lambda$, расположенных на зеркале открытого резонатора, на поляризационную структуру поля резонансного волнового пучка. Показано, что как щелевой, так и проволочный вибраторы представляют собой поляризационную неоднородность. Исследования проведены на резонансном квазиоптическом поляриметре сканирующего типа на частоте 75 ГГц.

Успешное применение открытых резонаторов (ОР) в оптических квантовых генераторах стимулировало развитие работ по изучению влияния элементов связи на собственные функции данной резонансной системы, описывающие пространственные распределения полей на зеркалах [1—4]. В приближении малости возмущения (щель связи не приводит к сдвигу собственной частоты резонатора) аналитически показано снятие вырождения по потерям для неоднородных по азимуту типов колебаний. Экспериментальные исследования ОР с двумя щелями связи, расположенных на одном из зеркал резонатора, указали на наличие полного расщепления вырожденных по частоте типов колебаний [5]. Полученный в [5] результат свидетельствует о том, что на практике пренебрежение сдвигом собственной частоты, вызванным элементом связи, может оказаться неправомерным, например, при использовании ОР для исследования веществ со слабой анизотропией [6]. Для повышения чувствительности и точности таких измерений необходим учет влияния различных деполяризующих факторов на пространственную структуру резонансного волнового пучка и, в частности, элемента связи в виде щели на одном из зеркал ОР, представляющей собой щелевой вибратор.

Цель настоящей работы заключается в экспериментальном изучении деполяризующего действия элементов связи ОР в виде щелевого и проволочного вибраторов на собственную поляризацию резонансного поля.

Экспериментальное исследование деполяризующего действия щели связи на состояние поляризации резонансного поля полусферического ОР проводилось на сканирующем квазиоптическом поляриметре [7]. Нагруженная на открытый конец стандартного прямоугольного волновода щель с размерами $3,6 \times 0,1 \text{ мм}^2$ располагалась в центре сферического зеркала. Возбуждение ОР на основном TEM_{00q} типе колебаний осуществлялось в результате дифракции внешней электромагнитной волны на рассеивающем зонде, который размещался в объеме резонатора. В качестве зонда использовался сферический рассеиватель диаметром $0,03\lambda$, обеспечивающий оптимальную связь ОР со свободным пространством. Опорные волновые пучки формировались двумя эквидистантными по отношению к зонду рупорными антеннами с взаимно ортогональной ориентацией векторов электрических полей. В результате в объеме ОР возбуждались два кросс-поляризованных гауссовых пучка, соответствующие основному типу колебаний и вырожденные по частоте:

$$\mathbf{E}_x = x_0 \dot{A} \exp[-(x^2 + y^2)/W_0^2] \cos(kz - \Phi_{00}), \quad (1)$$

$$\mathbf{E}_y = y_0 \dot{B} \exp[-(x^2 + y^2)/W_0^2] \cos(kz - \Phi_{00}),$$

где $\dot{A} = A_0 \exp(i\varphi_x)$ и $\dot{B} = B_0 \exp(i\varphi_y)$ — комплексные амплитуды, W_0 — радиус пятна поля в горловине гауссова пучка, $\Phi_{00} = \operatorname{arctg}(\lambda z/\pi W_0^2)$. Вывод энергии из резонансного объема осуществлялся посредством изотропного по поляризации элемента связи в центре плоского зеркала. Для реализации фазовых измерений в данном случае в отличие от [7] использовалась модифицированная схема квазиоптического поляриметра с искусственным формированием опорной волны [8]. Когерентный опорный сигнал непосредственно подавался в оба плеча разделителя поляризации через два направленных ответвителя. Предварительная калибровка схемы производилась при помещении зонда в оси резонатора с координатами $\{0, 0, z_0\}$ с зеркалом без щелевого элемента связи. Затем сплошное зеркало заменялось аналогичным зеркалом, но со щелью связи, которая ориентировалась параллельно суммарному вектору возбуждающего электрического поля \mathbf{E} ($\gamma = 45^\circ$, где γ — угол ориентации щели относительно вектора E_x), что соответствовало режиму собственной поляризации поля в исследуемом ОР. Как видно из рис. 1а, при таком расположении щели поле в ОР остается линейно-поляризованным, поскольку вносимое возмущение одинаково для ортогональных компонент E_x и E_y вектора E . Изменение угла ориентации щели относительно начального $\gamma = 45^\circ$ приводит к трансформации линейно-поляризованного поля в эллиптически-поляризованное (рис. 1).

Остановимся на механизме изменения собственной поляризации резонансного поля в процессе поворота щели относительно вектора E .

Рассматриваемая щель связи на зеркале ОР эквивалентна такой же щели в бесконечном металлическом экране. Данное утверждение справедливо, поскольку апертура зеркала $D \gg \lambda$, а относительная ширина щели $\delta = 0,025\lambda$. В этом случае, как известно [9], полное сечение рассеяния щели при нормальном падении плоской волны различно для H - и E -поляризаций и составляет $\sigma^H = 0,168$ и $\sigma^E = 0,149 \cdot 10^{-4}$ соответственно.

Действительно, если щель расположена перпендикулярно вектору E , то она прерывает токи проводимости на экране, в результате чего появляется ток смещения, и, следовательно, возникает сравнительно интенсивное рассеяние. При параллельной ориентации щели и вектора E токи проводимости практически не возмущены и поверхность зеркала можно считать однородной. Таким образом, основной вклад в изменение амплитуды и фазы электрического поля дает щель, ориентированная ортогонально вектору E , т. е. в нашем случае для E_y - и E_x -компонент при углах $\gamma = 0^\circ$ и $\gamma = 90^\circ$.

По измеренным значениям амплитуд ортогональных компонент вектора E и сдвига фазы между ними нетрудно определить параметры поляризационного эллипса — угол его ориентации β и угол эллиптичности α — из выражений [10]:

$$\beta = (1/2) \operatorname{arctg}[2A_0 B_0 \cos \varphi / (A_0^2 - B_0^2)],$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{A_0^2 \sin^2 \beta - A_0 B_0 \sin 2\beta \cos \varphi + B_0^2 \cos^2 \beta}{A_0^2 \cos^2 \beta + A_0 B_0 \sin 2\beta \cos \varphi + B_0^2 \sin^2 \beta}}, \quad (2)$$

где $\varphi = \varphi_x - \varphi_y$. В табл. 1 приведены данные расчета по (2) для различных значений γ .

Из рис. 1а видно, что при вращении щели от $\gamma = 0^\circ$ до $\gamma = 90^\circ$ наблюдается вращение плоскости поляризации поля и изменение эллиптичности поляризационного эллипса. При этом максимальный сдвиг фазы между ортогональными компонентами резонансного поля в двух крайних взаимно перпендикулярных положениях щели одинаков и равен 14° . Различное состояние поляризации поля при $\gamma = 45^\circ$ и $\gamma = 135^\circ$ (рис. 1) обусловлено, вероятно, неизбежным наличием слабого астигматизма в системе, а также ощутимых краевых эффектов в ОР миллиметрового диапазона. На рис. 2 приведены поляризационные диаграммы, характеризующие изменение годографа вектора электрического поля при прохождении резонанса путем частотной перестройки ОР.

Таблица 1

γ	β		α			
	Щель с открытым концом волновода	Щель с короткозамыкающим поршнем	Проволочный вибратор	Щель с открытым концом волновода	Щель с короткозамыкающим поршнем	Проволочный вибратор
0°	34°,8	18°,8	46°,8	7°,5	15°,7	17°,4
45°	45°	45°	51°,4	0°	2°,4	8°,7
90°	56°,8	73°	68°,1	6°,3	14°,4	16°,8
135°	37°,3	47°,8	52°,9	0°	7°,5	8°,6

Таким образом, прямоугольная щель связи в резонаторе представляет собой поляризационную неоднородность, различная ориентация которой на зеркале приводит к изменению состояния поляризации резонансного поля вследствие снятия поляризационного вырождения собственных типов колебаний ОР. Очевидно, что это происходит из-за различия фаз

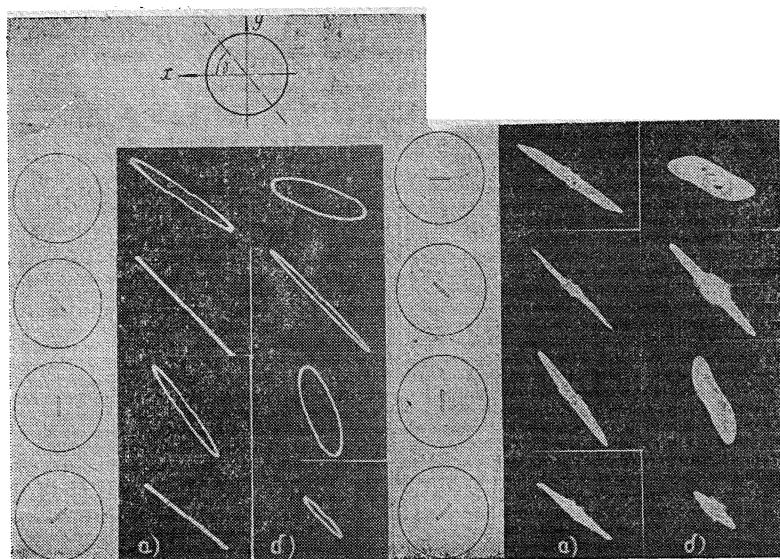


Рис. 1.

Рис. 1. Изменение поляризации резонансного поля ОР при различной ориентации щели связи относительно вектора E в точке с координатами $\{0, 0, z_0\}$:

а) ОР нагружен на открытый конец прямоугольного волновода, б) ОР нагружен на короткозамкнутый отрезок прямоугольного волновода.

Рис. 2. Поляризационные диаграммы резонансного поля:

а) ОР нагружен на открытый конец прямоугольного волновода, б) ОР нагружен на короткозамкнутый отрезок прямоугольного волновода.

Рис. 2.

коэффициентов отражения волн с ортогональной поляризацией от щели связи, которая в общем случае является реактивной нагрузкой ОР.

Поскольку на практике ОР, как правило, нагружен на волноводный СВЧ тракт, вызывает определенный интерес рассмотрение вопроса о взаимосвязи нагрузки с поляризацией резонансного поля. Установить такую взаимосвязь можно, например, изменением реактивной нагрузки, поместив для этой цели в отрезке волновода, подключенного к исследуемой щели связи, короткозамыкающий поршень. Изменение положения короткозамыкающего поршня в волноводе вызывает перераспределение амплитудно-фазовой структуры ближнего поля щели, что приводит к изменению параметров поляризационного эллипса (см. рис. 1б, табл. 1). На рис. 2 представлены поляризационные диаграммы, полученные в результате перестройки ОР в области резонанса. Полученный результат свидетельствует о возможности управления поляризационными характеристиками резонансного поля посредством изменения нагрузки в волноведущем СВЧ тракте.

Естественным было предположить, что, как и в случае щелевого вибратора, различная ориентация в объеме ОР проволочного вибратора также должна приводить к изменению поляризации поля в резонанском волновом пучке. Действительно, согласно принципу двойственности, щель в экране по своим характеристикам рассеяния аналогична узкой металлической ленте, расположенной в свободном пространстве. Проведенные исследования ОР с расположенным в центре гладкого сферического зеркала проволочным вибратором длиной $l = \lambda$ показали, что в процессе его вращения меняются как ориентация, так и угол эллиптичности поляризационного эллипса (см. рис. 3б, табл. 1).

Однаковый характер поведения поляризации поля для ОР со щелью и ОР с таким проволочным вибратором можно, по-видимому,

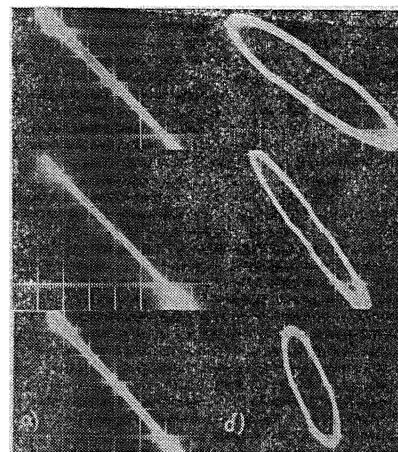


Рис 3. Состояние поляризации резонансного поля в ОР:
а) без элементов связи, б) с проволочным вибратором в центре зеркала.

объяснить следующим образом. За счет изменения фазы волны, отраженной от конечной нагрузки волновода (например, от короткозамыкающего поршня), может происходить увеличение или уменьшение электрической длины волновода. Следовательно, при определенных условиях щель может как бы «выступать» над поверхностью зеркала и быть электрически эквивалентной проволочному вибратору. Как и следовало

ожидать, при повороте гладкого зеркала относительно вектора E (ОР без элементов связи) ввиду симметрии системы линейная поляризация резонансного поля оставалась неизменной (рис. 3а).

Все описанные выше результаты относятся к измерению поляризации поля на оси ОР в точке с координатами $\{0, 0, z_0\}$. Исследование поляризационной структуры поля в других точках плоскости регистрации, перпендикулярной оси резонатора, показало отличие ее от линейной. На рис. 4 показано состояние поляризации резонансного поля в двух характерных точках плоскости регистрации $\{0, 0, z_0\}$ и $\{0; 3,7; z_0\}$.

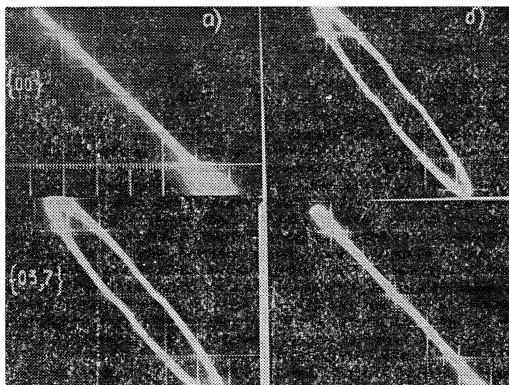


Рис. 4. Изменение поляризации поля ОР в различных точках резонансного объема:

а) без элементов связи, б) с проволочным вибратором в центре зеркала.

в ОР с гладким сферическим зеркалом. Появление эллиптичности при отходе от оси ОР (см. рис. 4а) обусловлено наличием неравномерной части токов на зеркалах ОР, которые являются источником кросс-поляризованной краевой волны [11]. При помещении на зеркало ОР проволочного вибратора наблюдается появление эллиптичности поля в центре резонатора и уменьшение ее вплоть до нуля в периферийной точке волнового пучка. Поэтому, при исследовании, например, различных анизотропных веществ с помощью ОР, всегда необходимо учитывать деполяризующее влияние элементов связи на собственную поляризацию резонансного поля.

Таким образом, проведенные в работе исследования позволяют сделать следующие выводы.

1) Как щелевой, так и проволочный вибраторы в ОР являются поляризационной неоднородностью и приводят к незначительному снятию поляризационного вырождения в системе.

2) Изменение комплексного коэффициента отражения от связанной с ОР волноводной линии позволяет управлять поляризацией поля резонансного волнового пучка.

3) Наличие деполяризующего элемента в ОР приводит к изменению пространственной поляризационной структуры поля во всем резонансном объеме.

Проведенные в работе исследования позволяют увеличить надежность и точность получаемых результатов при использовании ОР для изучения макрофизических свойств различных слабоанизотропных веществ, а также оптимизировать элементы связи в вакуумных и твердо-гельных генераторах на базе ОР.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В. П. Шестopalову за поддержку и постоянный интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косарев Е. Л., Ципенюк Ю. М. — В сб. Электроника больших мощностей. — М.: Наука, 1968, с. 103.
2. Казанцев Ю. Н. — Изв. вузов — Радиофизика, 1967, 10, № 4, с. 518.
- 3 Власов С. Н., Таланов В. И. — Радиотехника и электроника, 1970, 15, № 12, с. 2383
4. Епишин В. А — Квантовая электроника, 1978, 5, № 6, с. 1263.
5. Булгаков Б. М., Леонов Ю. И., Фурсов А. М. Тезисы докладов 2-го Всесоюзного симпозиума по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. — Харьков. ИРЭ АН УССР, 1978, 1, с. 276.
6. Вертий А. А., Иванченко И. В., Попков Ю. П., Шестопалов В. П. Препринт № 134 ИРЭ АН УССР. — Харьков, 1979.
7. Вертий А. А., Иванченко И. В., Шестопалов В. П. — Приборы и техника эксперимента, 1981, № 1, с 155
8. Вертий А. А., Попков Ю. П., Шестопалов В. П. Тезисы докладов 2-го Всесоюзного симпозиума по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. — Харьков, ИРЭ АН УССР, 1978, 2, с. 201
9. Кинг Р., Утай-Цзунь. Рассеяние и дифракция электромагнитных волн. — М.: ИЛ, 1962.
10. Канарейкин Д. Б., Павлов Н. Ф., Потехин В. А. Поляризация радиолокационных сигналов. — М: Сов. радио, 1966.
11. Уфимцев П. Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции. — М.: Сов. радио, 1962.

Институт радиофизики и электроники
АН УССР

Поступила в редакцию
10 ноября 1980 г.

COUPLING SLOT OF AN OPEN RESONATOR — POLARIZATION INHOMOGENEITY

A. A. Vertij, I. V. Ivanchenko, N. A. Popenko

An effect of a slot and wire vibrators on the polarization structure of a field of the resonance wave beam has been considered and have dimensions $\lambda/2 < l < \lambda$. They are located on the mirror of an open resonator. It is shown that both the slot and wire vibrators are the polarization inhomogeneity. Investigations are made by quasi-optical polarimeter of a scanning type at the frequency 75 GHz.

Аннотации депонированных статей

УДК 621.372.09

КОМПЕНСАЦИЯ ОБРАТНО ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ В РЕШЕТКЕ ИЗ ПЛОСКИХ ВОЛНОВОДОВ С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

A. M. Полуботко, B. A. Степанов

Рассматривается дифракция плоской E поляризованной волны на решетке из плоских волноводов с неоднородностями при углах, характеризующихся наличием обратно отраженной волны. Выводятся условия отсутствия обратного отражения. Для параметра q в интервале $1 < q < 3$ строится матрица коэффициентов трансформации волноводных волн на неоднородностях, удовлетворяющая условию компенсации сразу нескольких направлений.

*Статья депонирована в ВИНТИ,
регистр. № 5310-81. Деп. от 19 ноября 1981 г.*
