

09

© 1993

БИСТАБИЛЬНОСТЬ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ*

А.А. В е р т и й, С.П. Г а в р и л о в, С.И. Т а р а п о в

В последнее время интерес к изучению нелинейных процессов в различных областях физики возрастает (см., например, [1, 2] и др.). В частности, в радиоспектроскопии, физике твердого тела исследуются нелинейные свойства резонансных электродинамических структур, применяющихся в исследованиях магниторезонансных свойств веществ в миллиметровом диапазоне радиоволн при низких и сверхнизких температурах. При этом, благодаря высокой добротности, хорошим термодинамическим характеристикам наиболее часто используется квазиоптический открытый резонатор (ОР) типа Фабри-Перо [7], обеспечивающий эффективность таких исследований. В качестве отражателей применяют металлические сферические зеркала, в центре которых находятся отверстия – элементы связи резонатора с волноведущими линиями.

Однако в связи с расширяющимся использованием миллиметровых волн нередко требуются ОР с распределенными элементами связи, в качестве которых можно применять частично прозрачные тонкопленочные металлические или многослойные диэлектрические зеркала [3, 4]. В работе [4] показана перспективность применения в квазиоптическом ОР многослойной диэлектрической структуры с распределенной регулируемой связью – волноведущими линиями. Именно возможность оперативно перестраивать характеристики диэлектрического зеркала путем изменения толщины слоев или их количества выгодно отличает такую резонансную структуру от обычных ОР с металлическими зеркалами.

* Работа финансируется ГКНТ Украины.

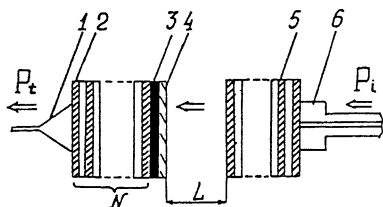


Рис. 1. Многослойная квазиоптическая резонансная структура: 1 - приемный рупор, 2 - выходной плоскостойкий отражатель, 3 - слой рубина, 4 - кварцевый диск, 5 - входной плоскостойкий отражатель.

Наличие нелинейных слоев, в данном случае парамагнитного, в ОР с диэлектрическими отражателями приводит к его новым свойствам, изучение которых позволит наиболее полно использовать достоинства такой резонансной структуры.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования плоскостойкого диэлектрического резонатора Фабри-Перо, внутри которого расположен парамагнитный слой рубина. Нелинейные свойства резонатора изучены в условиях электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) при насыщении рабочего слоя СВЧ излучением в миллиметровом диапазоне длин волн.

Эксперименты проведены при температуре 4.2 К на радиоспектрометре „БУРАН“ [7], созданном в ИРЭ АН Украины.

Исследуемая структура является резонатором Фабри-Перо, каждый отражатель которого образован набором из N плоскопараллельных диэлектрических слоев (рис. 1). Расстояние L между отражателями и число пластин в наборе в ходе эксперимента изменялись. Исследованы пяти- и семислойные структуры с размером апертуры $A=5\lambda$, у которых слои с нечетными номерами выполнены в виде полистироловых дисков, а слои с четными номерами являются зазорами между дисками. Толщины d слоев равны

$$d = 0.75 \frac{\lambda}{n},$$

где $\lambda \approx 4$ мм - рабочая длина волны, n - показатель преломления слоя. Слой рубина толщиной $d = 0.125\lambda$ закреплен на одном из отражателей внутри резонатора.

Наблюдаемыми сигналами являлись сигналы, поступающие на вход X и Y осциллографа. На вход X подавался сигнал, пропорциональный мощности падающей волны, а на вход Y - сигнал, пропорциональный мощности прошедшей волны. Вследствие модуляции СВЧ-несущей сигналом треугольной формы частотой $f = 10^2$ Гц мощность излучения изменялась от 10^{-3} до $30 \cdot 10^{-3}$ Вт. Соответственно изменялись величина сигнала на экране осциллографа. Путем изменения расстояния L между отражателями структуры

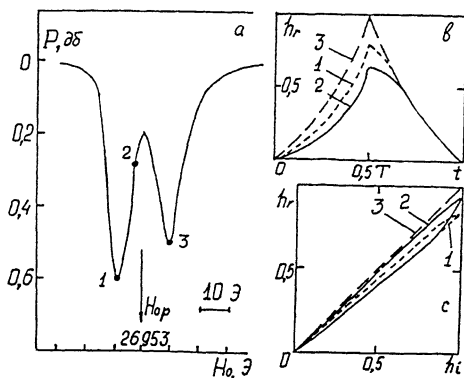


Рис. 2. Бистабильный режим в многослойной резонансной структуре: а) регистрируемая линии ЭПР в режиме насыщения; в) изменение формы импульса в нелинейном режиме; с) бистабильность коэффициента передачи резонатора.

производилась настройка резонатора на рабочий тип колебания, добротностью $Q \approx 150-250$.

При медленной развертке статического магнитного поля H_0 вблизи резонансного значения $H_{ор} = \omega \cdot \gamma^{-1}$ (где $\omega = 2\pi\nu$ - частота СВЧ излучения; γ - величина электронного гиромангнитного отношения) наблюдается сигнал (линия) ЭПР в рубине. Зарегистрированная форма линии ЭПР для семислойного резонатора, при величине подводимой к резонатору мощности $W \approx 25$ МВт, показана на рис. 2, а. Характерной особенностью контура линии является наличие максимума при $H_0 = H_{ор}$ и двух минимумов, наблюдаемых при $H_0 = H_{ор} \pm \Delta H_0$, где ΔH_0 зависит от W . При $W \leq 1$ мВт $\Delta H_0 = 0$. Точки 1, 2, 3 обозначают значения H_0 соответственно 26916,83 Э, 26926,64 Э, 26953,61 Э. Такая зависимость формы линии от подводимой СВЧ мощности объясняется насыщением магнитной восприимчивости рабочего слоя, которая, согласно [5], зависит от квадрата амплитуды магнитной компоненты СВЧ поля в резонаторе.

Исследование огибающей СВЧ-несущей, прошедшей резонатор, показало, что вид огибающей существенно изменяется в зависимости от H_0 . Форма одного периода T огибающей показана на рис. 2, в, где кривые 1, 2 и 3 соответствуют точкам 1, 2 и 3 на рис. 2, а (h_r - величина прошедшего сигнала в относительных единицах). Наиболее сильно форма огибающей отличается от треугольной вблизи центра линии ЭПР. Такое искажение формы импульсных сигналов, прошедших резонатор и приведенных на рис. 2, в демонстрирует нелинейность его свойств. Поскольку форма сигнала на возрастающем участке импульса (рис. 2, в, кривая 2) отличается от формы сигнала на спадающем участке импульса и отличается от формы сигнала вне линии ЭПР (кривая 3), то отсюда следует, что резонатор дол-

жен обнаруживать гистерезисные свойства. Подобные свойства (гистерезисные характеристики) оптического резонатора рассмотрены в [1].

Обнаруженный нами гистерезис коэффициента передачи P в изучаемой многослойной структуре приведен на рис. 2, с, где показаны гистерезисные циклы, наблюдаемые в точках 1, 2 и 3 (на рис. 2, а). Величины h_i, h_T — соответственно, сигналы на входах X и Y осциллографа в относительных единицах. За единицу принята величина сигналов, при которых на экране осциллографа вне линии ЭПР (или в отсутствии статического магнитного поля) наблюдается прямая линия под углом 45° к осям x и y .

Таким образом, проведенное исследование показало следующее.

1. Многослойные резонансные диэлектрические структуры могут быть успешно применены в радиоспектрах магнитного резонанса миллиметрового диапазона длин волн как измерительные ячейки, благодаря наличию распределенной регулируемой электродинамической связи такого ОР с волноведущими элементами.

2. Для максимальной эффективности такой ячейки, в частности при работе с высокими уровнями СВЧ мощности, необходимо учитывать ее нелинейные свойства, обусловленные характером динамической восприимчивости размещенного в ячейке магнитного слоя.

Приведенные результаты могут найти применение в радиоспектроскопии, при разработке СВЧ устройств, работа которых основана на принципах нелинейной электродинамики.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G i b b s Н. Optical Bistability. Controlling Light With Light. — Orland. Academic Press., 1985. 471 p.
- [2] В е р т и й А.А., К а р н а у х о в И.М., Ш е с т о п а л о в В.П. Поляризация атомных ядер миллиметровыми волнами. Киев: Наук. думка, 1990. 332 с.
- [3] В е р т и й А.А., Г а в р и л о в С.П., Д е р к а ч В.Н. // УФЖ. 1982. Т. 27. № 5. С. 542–545.
- [4] В е р т и й А.А., Г а в р и л о в С.П., Д е р к а ч В.Н. // Изв. вузов. Радиофизика, 1988. Т. 31. № 7. С. 847–854.
- [5] Б е р т е н Ф. Основы квантовой электроники. М.: Мир, 1971. 629 с.
- [6] В е р т и й А.А., Т а р а п о в С.И. и др. // ПТЭ, 1988. № 2. С. 107–111.
- [7] В е р т и й А.А., Г а в р и л о в С.П., Т а р а п о в С.И. и др. // Доклады РАН, 1992. Т. 33. № 2. С. 270–273.

Поступило в Редакцию
8 декабря 1992 г.