

Полученные результаты указывают, что для изготовления цилиндрических резонаторов с отклонением добротности от расчетной на $\pm 20\%$ величина τ должна быть не более $|\tau| \leq 0.2$. Это определяет допуск на относительное изменение диаметра на полной длине системы:

$$\Delta D/D_0 \leq 0,025(\lambda/L)^2. \quad (11)$$

В гиротронах на второй гармонике гирочастоты основные трудности связаны с конкуренцией паразитных мод либо синхронных с первой гармоникой [7], либо, в некоторых случаях, синхронных со второй и имеющих $q > 1$ [8]. Из результатов, представленных на рис. 2, следует, что при уменьшении τ селективность резонаторов по отношению к указанным паразитным модам возрастает. (Заметим, что величина $|\tau|$ в одном и том же резонаторе меньше для моды с большей длиной волны.) Согласно рис. 2 за счет слабой конусности может быть достигнуто увеличение отношения добротностей рабочей и паразитной мод в 2—3 раза.

Авторы благодарят С. Н. Власова и Ш. Е. Цимринга за постоянное внимание к работе, а также Г. С. Нусиновича за ценные замечания, сделанные при просмотре рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гапонов А. В., Гольденберг А. Л., Григорьев Д. П., Панкратова Т. Б., Петелин М. И., Флягин В. А.—Изв. вузов—Радиофизика, 1975, 18, № 2, с. 280.
2. Вайнштейн Л. А. Открытые резонаторы и открытые волноводы.—М.: Сов. радио, 1966
3. Temkin R. I.—International Infrared millimeter waves, 1981, 2, № 4, p. 629.
4. Власов С. Н., Жислин Г. М., Орлова И. М., Петелин М. И., Рогачева Г. Г.—Изв. вузов—Радиофизика, 1969, 12, № 8, с. 1236.
5. Братман В. Л., Моисеев М. А., Петелин М. И., Эрм Р. Э.—Изв. вузов—Радиофизика, 1973, 16, № 4, с. 622.
6. Нусинович Г. С., Панкратова Т. Б. В кн.: Гиротрон—Горький: ИПФ АН СССР, 1981, с. 169
7. Антаков И. И., Запечалов В. Е., Панкратова Т. Б., Цимринг Ш. Е.—В кн.: Гиротрон.—Горький: ИПФ АН СССР, 1981, с. 199
8. Запечалов В. Е., Короблев Г. С., Цимринг Ш. Е.—Радиотехника и электроника, 1977, 22, № 8, с. 1661

Институт прикладной физики
АН СССР

Поступила в редакцию
6 сентября 1982 г.

УДК 621.373.826.038 823

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ ЗЕРКАЛ НА ВОЛНЕ 1,15 мкм

Ю. Н. Коноплев, А. А. Туркин

В последние годы определенные перспективы в развитии лазерной гироскопии связаны с созданием и использованием так называемых магнитных зеркал [1, 2]. Магнитное зеркало в лазерном гироскопе объединяет в себе функции отражателя (зеркала) и фазового невязанного элемента и поэтому имеет преимущество перед другими способами создания начального расщепления частот встречных волн (не требует внесения в резонатор дополнительных оптических элементов, позволяет избежать применения движущихся механических частей). В настоящее время известны магнитные зеркала двух типов: для линейно-поляризованных волн — работающие на основе экваториального эффекта Керра и для циркулярно-поляризованных волн — на основе полярного эффекта Керра. Подробное рассмотрение магнитооптических эффектов Керра можно найти в монографии [3].

В данной работе речь пойдет о магнитном зеркале первого типа, впервые предложенного в [4, 5]. При отражении от намагниченной (перпендикулярно плоскости падения) поверхности волн встречных направлений вследствие эффекта Керра приобретают невязанные фазовые сдвиги, приводящие в кольцевом лазере к расщеплению частот встречных волн. Существенным при этом является то, что невязанный эффект в случае, если волны линейно поляризованы в плоскости падения, имеет место без изменения их поляризации. Нежелательная амплитудная невязанность, появляющаяся при отражении от намагниченного ферромагнетика, может быть уменьшена в магнит-

ном зеркале с помощью выбора определенной толщины диэлектрического слоя («управляющего»), нанесенного поверх магнитного [5-7]. Увеличение коэффициента отражения зеркала (до 95% и выше) достигается путем нанесения поверх «управляющего» слоя четвертьволновых диэлектрических слоев с большим и малым показателями преломления, например, из сульфида цинка и фторида магния.

Наиболее существенными характеристиками магнитного зеркала являются потери, а также величины фазовой и амплитудной невзаимностей, вносимых в резонатор кольцевого лазера. Несомненный практический интерес представляет также зависимость величины расщепления частот встречных волн от приложенного магнитного поля, которая определяется коэрцитивностью магнитных пленок и для пленок железа может быть доведена до 5—10 Э. Интересно также зависимость величины расщепления частот (при фиксированном магнитном поле) от расстройки частоты генерации относительно центра линии усиления. Последняя характеристика зависит от неравенства интенсивностей встречных волн, которое обусловлено амплитудной невзаимностью магнитного зеркала. Экспериментальному исследованию перечисленных характеристик и посвящено данное сообщение.

Исследования проводились с треугольным кольцевым лазером (периметр $L \approx 1$ м) на волне 1,15 мкм, активная среда которого содержала примерно 50-процентную смесь изотопов неона при соотношении гелия и неона 7:1 и общем давлении 1,6 мм рт. ст. Активная среда возбуждалась разрядом постоянного тока (длина разрядной промежутка 230 мм, диаметр капилляра 3 мм) Брюстеровские окна газоразрядной трубки были развернуты так, что генерировались встречные волны с р-поляризацией. Резонатор был образован двумя диэлектрическими зеркалами, а третье было магнитным. В одно из плеч резонатора помещался фарадеевский фазовый невзаимный элемент (ФНЭ), в другое — блок калиброванных потерь (БКП). Постоянное расщепление частот встречных волн, создаваемое с помощью ФНЭ, позволяло исключить влияние связи встречных волн из-за обратного рассеяния. Используя метод калиброванных потерь (см, например, [8]), с помощью БКП измеряли начальные потери в лазере, когда магнитное зеркало заменялось призмой полного внутреннего отражения (ПВО). Потери в лазере, образованном двумя диэлектрическими зеркалами, призмой ПВО, БКП и ФНЭ, составили величину 5,8%. Далее, вместо призмы ПВО в лазер помещалось магнитное зеркало и также определялись потери, соответствующие порогу генерации. Увеличение потерь относительно начальных отождествлялось с потерями, вносимыми магнитным зеркалом, так как потери, вносимые призмой ПВО, были существенно меньше.

Зависимость расщепления частот встречных волн от намагниченности магнитного зеркала исследовалась с помощью частотного детектора, построенного по принципу конденсаторного частотомера. Сигнал биений встречных волн с разностной частотой поступал на вход частотного детектора, изменение напряжения на его выходе было пропорционально изменению разности частот встречных волн. При наложении на магнитное зеркало переменного магнитного поля с частотой 50 Гц на выходе частотного детектора появлялось переменное напряжение с той же частотой, пропорциональное частотной девиации ΔF , вызванной переменным магнитным полем. Таким образом был построен «керровский петлескоп»: на Y-пластины осциллографа подавался сигнал, пропорциональный частотной девиации, а на X-пластины — сигнал, пропорциональный величине магнитного поля H . На экране осциллографа наблюдалась зависимость $\Delta F(H)$ при циклическом перемагничивании. Она представляла прямоугольную петлю гистерезиса с шириной 10—15 Э.

Были исследованы параметры магнитных зеркал, в которых поверхность железного ферромагнитного слоя наносилась 7-, 9- и 10-слойные диэлектрические зеркала*. Потери в этих зеркалах составляли 7,7%, 3,5% и 5,4% соответственно. Величина расщепления ΔF в зависимости от числа диэлектрических слоев в многослойном магнитном зеркале менялась и достигала в наших опытах максимальной величины 25 кГц.

Далее исследовалась зависимость расщепления частот ΔF от расстройки частоты генерации относительно центра линии усиления. Известно, что амплитудная невзаим-

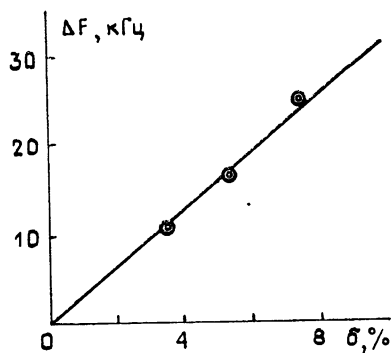


Рис. 1. Зависимость расщепления частот от потерь, вносимых магнитным зеркалом.

в зеркале с семислойным покрытием. На рис. 1 представлена зависимость расщепления частот встречных волн, получаемого с помощью магнитного зеркала, от потерь δ (по мощности), вносимых в резонатор. Эта зависимость для лазера с периметром ~ 1 м носит линейный характер с крутизной $\sim 3,2$ кГц/% потерь.

Далее исследовалась зависимость расщепления частот ΔF от расстройки частоты генерации относительно центра линии усиления. Известно, что амплитудная невзаим-

* Диэлектрические покрытия состояли из чередующихся четвертьволновых слоев MgF_2 и ZnS , ближайшим к ферромагнитному был слой ZnS .

ность, вносимая магнитным зеркалом, приводит к нечетной составляющей зависимости расщепления частот от расстройки. Наклон этой зависимости позволяет оценить величину амплитудной невязанности. Для упомянутых выше зеркал наблюдалось практически постоянное расщепление частот в пределах зоны генерации, т. е. амплитудная невязанность по оценкам не превышала величины $\sim 10^{-5}$. На рис. 2а приведена типичная зависимость для 10-слойного магнитного зеркала при двух направлениях приложенного магнитного поля. Всплески на кривых соответствуют переходу на следующий номер моды при изменении периметра

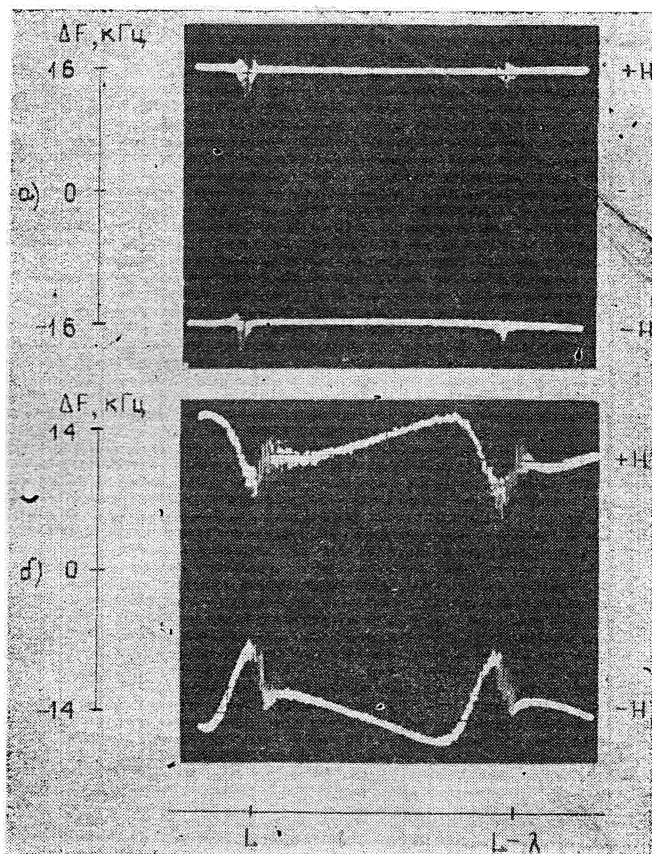


Рис. 2. Зависимость расщепления частот от перестройки периметра резонатора в отсутствие амплитудной невязанности в магнитном зеркале (а) и при амплитудной невязанности $\sim 10^{-4}$ (б).

Были изготовлены также магнитные зеркала с «управляющим» слоем из MgF_2 с фазовыми толщинами 56, 60 и 64° и из ZnS с фазовой толщиной $\sim 163^\circ$. Поверх этих структур были нанесены 7- и 6-слойные диэлектрические покрытия соответственно. Согласно проведенным расчетам такие зеркала должны были обладать весьма малой амплитудной невязанностью, если воспользоваться параметрами железа из [6]. Однако эксперимент показал, что эти зеркала имели амплитудную невязанность, превышающую значение 10^{-4} , это свидетельствовало, по-видимому, об отличии параметров железа от приведенных в [6]. Величина расщепления частот при настройке на центр линии усиления составляла для различных зеркал этой серии величину 12—18 кГц. Типичная зависимость расщепления частот от расстройки для этого случая приведена на рис. 2б. Асимметрия кривых относительно центра линии была связана с небольшим отличием активной среды от равноизотопной.

Таким образом, проведенные исследования показали, что рассмотренные металлические магнитные зеркала, во-первых, по своей добротности (отношение фазовой невязанности к потерям) были близки к аналогичным зеркалам, описанным в [8], и, во-вторых, имели достаточно малую амплитудную невязанность. Заметим, что в работах [4, 6, 9] экспериментальные результаты по измерению амплитудной невязанности не приводятся, хотя этот вопрос представляет интерес для практического использования таких невязанных отражателей.

Авторы благодарны М. А. Новикову за стимулирование данной работы, И. А. Андроновой за постоянное внимание и помощь в работе и Ю. А. Мамаеву за полезное обсуждение

ЛИТЕРАТУРА

1. Morrison R. F., Levinson E., Bryant B. L.—Proc. IEEE Nat. Aerospace and Electron. Conf. NAECON'77, IEEE.—New York: 1977, p. 1045.
2. Савельев А. М., Соловьева Т. И.—Зарубежная радиоэлектроника, 1981, № 8, с. 77.
3. Соколов А. В. Оптические свойства металлов.—М.: Физматгиз, 1961.
4. McClure R. E.—U. S. Patent № 3927946, Dec. 23, 1975.
5. Macek W. M.—U. S. Patent № 3851973, Dec. 3, 1974.
6. Krebs J. J., Maisch W. G., Prinz G. A., Forester D. W.—IEEE Trans. Magn., 1980, MAG-16, № 5, p. 1179.
7. Мамаев Ю. А., Маркелов В. А., Новиков М. А.—Изв. вузов—Радиофизика, 1981, 24, № 11, с. 1398.
8. Троицкий Ю. В. Одночастотная генерация в газовых лазерах.—Новосибирск: Наука (Сибирское отд.), 1975.
9. McClure R. E., Vaheer E.—Proc. IEEE Nat. Aerospace and Electron. Conf. NAECON'78, IEEE.—New York, 1978, p. 544.

Институт прикладной физики
АН СССР

Поступила в редакцию
26 ноября 1982 г

ПЕРВЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО МАП

(Окончание)

Общий анализ программы симпозиума показывает, что ряд направлений исследований по МАП развивается в нашей стране очень активно и по этим направлениям уже получен ряд важных результатов. Сюда можно, прежде всего, отнести теоретическое моделирование стратомезосферы (доклад А. И. Ивановского и др.), экспериментальное изучение динамики мезосферы и нижней термосферы различными методами (доклад Э. С. Казимировского), теоретическое моделирование области *D* и развитие концепции метеорологического контроля (доклад А. Д. Данилова), комплексное изучение явления зимней аномалии (доклад З. Ц. Рапопорта), наблюдение серебристых облаков (доклад Ч. Й. Виллманна). В то же время ряд направлений исследований в области МАП был представлен на симпозиуме недостаточно полно. К таким направлениям относится, прежде всего, наблюдение и изучение озона, а также других малых примесей в стратосфере.

Отдельно следует сказать несколько слов о докладе В. И. Дробжева и др., посвященном реакции ионосферы на наземный взрыв. Авторы, являвшиеся активными участниками известного эксперимента «Масса», привели интересные результаты, свидетельствующие о разнообразных проявлениях эффектов наземного взрыва в ионосфере и о возможностях их детектирования. Поскольку средняя атмосфера является как раз той средой, через которую распространяются возмущающие агенты, получаемую таким образом информацию можно использовать для диагностики состояния этой среды, а также для исследования вопросов распространения через нее различных волн.

В работе симпозиума приняли участие ученые из ГДР, США и ЧССР. Трое из них были приглашены в качестве гостей АН СССР. Проф. С. Боухилл (США), председатель Международного комитета МАП, сделал доклад о результатах измерений параметров средней атмосферы с помощью МСТ-радаров. Др. Р. Мегилл (США) и проф. Й. Таубенхайм, члены того же комитета, соответственно рассказали о проблемах химии малых примесей в стратосфере и об исследованиях зимней изменчивости области *D* радиофизическими методами.

В целом симпозиум прошел на высоком научном и организационном уровне и позволил впервые свести воедино и совместно обсудить работы в области исследования средней атмосферы, проводимые в разных организациях специалистами различных научных дисциплин (от метеорологии до химической кинетики и распространения радиоволн), а также наметить планы дальнейших работ по МАП.

Председатель национальной комиссии МАП

А. Д. Данилов