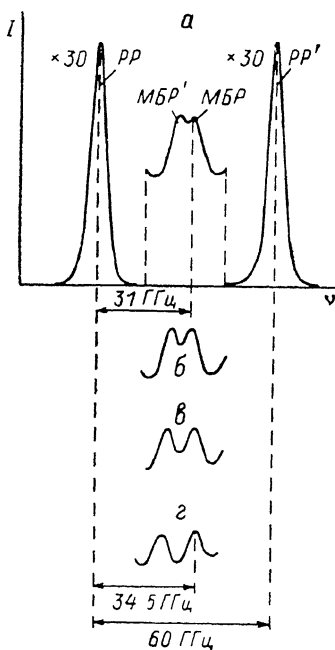


## ИССЛЕДОВАНИЕ МАНДЕЛЬШТАМ-БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ В ПЛАВЛЕНОМ КВАРЦЕ ПРИ НАГРЕВАНИИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

И. Е. Горбатов, Б. Г. Горшков

Кварцевое стекло, представляющее собой сверхчистый плавленный кварц с легирующими добавками для получения заданного показателя преломления, стало основным материалом для изготовления волоконных световодов с малыми потерями. Такие световоды могут применяться не только для передачи информации, но и как основа создания чувствительных элементов датчиков различных физических параметров [1]. В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований зависимости интенсивности и частотного сдвига рассеяния

Манделъштата—Бриллюэна (МБР) на продольных акустических волнах в кварц-полимерных и кварц-кварцевых оптических волокнах с диаметром сердцевины 40—200 мкм и оптическими потерями 3—10 дБ/км на длине волны 0.85 мкм при их продольном растяжении и нагревании. Предпосылками к проведению эксперимента являлись известная линейная температурная зависимость интенсивности МБР в оптических материалах [2], а также обнаруженные недавно изменения в спектре комбинационного рассея-



Спектры МБР в кварц-кварцевом оптическом волокне с диаметром сердцевины 60 мкм, полученные с помощью перестраиваемого интерферометра Фабри—Перо для различных относительных продольных удлинений  $dL/L$  на длине волны 0.488 мкм.

МБР', РР' — спектральные компоненты следующего порядка интерференции.  $dL/L$ : а — 0, б — 0.0093, в — 0.0186, г — 0.028.

ния, обусловленные растяжением образцов из кварцевого стекла [3], которые свидетельствуют о изменении фононного спектра в этих условиях.

Оптическое излучение вводилось в исследуемый световод двухметровой длины через направленный волоконно-оптический ответвитель. В качестве источника излучения использовался непрерывный аргоновый лазер (модель 165 Spectra—Physics) с максимальной мощностью 1 Вт и шириной линии 8 ГГц, работающий на длине волны 0.488 мкм. Излучение, рассеянное в направлении, противоположном направлению распространения исходного пучка, через тот же ответвитель и электрически сканируемый двухпроходный интерферометр Фабри—Перо с базой 2.5 мм и контрастом, равным 2000, поступало на фотоумножитель.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что в кварцевых оптических волокнах интенсивность рэлеевского рассеяния (РР) не зависит от температуры образца с точностью до 3 %, а интенсивность МБР увеличивается пропорционально абсолютной температуре в интервале 300—450 К. Для того чтобы уверенно говорить о неизменности интенсивности РР, пришлось экспериментально убедиться в постоянстве числовой апертуры световода при этом с точностью до 1 %.

Кроме того, наблюдался эффект увеличения частотного сдвига МБР с 31 до 31.23 ГГц при повышении температуры образца с 300 до 450 К. Расчеты показали, что такое возрастание частотного сдвига МБР может быть вызвано изменениями модуля упругости плавленого кварца при нагревании.

При исследованиях изменений в спектре рассеяния при продольном растяжении образцов было обнаружено возрастание частотного сдвига компонент МБР. На рисунке представлены спектры МБР, полученные в кварц-кварцевом оптическом волокне с диаметром сердцевины 60 мкм при различных продольных удлинениях  $dL/L$ .

Из экспериментальных данных следует, что 1 % относительного удлинения кварцевого оптического волокна приводит к увеличению сдвига МБР на 3—4 %. Для выяснения причин такой зависимости были проведены расчеты с учетом изменений плотности и эффекта фотоупругости плавленого кварца при его растяжении. Было установлено, что растяжение образцов вызывает значительное увеличение модуля упругости плавленого кварца, которое в свою очередь приводит к повышению скорости распространения продольных звуковых волн и, следовательно, к увеличению частотного сдвига МБР. При этом  $dE/E = (6 \dots 8) dL/L$ , где  $dE/E$  — относительное изменение модуля упругости.

Для того чтобы убедиться в значительном увеличении модуля упругости плавленого кварца при растяжении, мы поставили акустический эксперимент, в котором измерялось время прохода продольных акустических волн частотой до 300 кГц по световоду длиной 4 м. При удлинении световода время уменьшалось, а несложные расчеты также приводили к выводу, что  $dE/E = (7 \dots 8) dL/L$ . К сожалению, точность измерения в этом случае была невысокой, так как световод был покрыт эпоксиакрилатным компаундом толщиной около 40 мкм, физические свойства которого не изучены в достаточной мере, а световод без покрытия не обладал достаточной механической прочностью, чтобы с ним можно было проводить эксперименты.

Таким образом, основным результатом настоящей работы является экспериментально обнаруженный эффект аномально сильного изменения частотного сдвига линий МБР при растяжении образцов из кварцевых стекол. Этот эффект может быть объяснен весьма сильной зависимостью модуля упругости плавленого кварца от испытываемой образцом упругой деформации растяжения. По-видимому, такая зависимость есть следствие неупорядоченности структуры этого материала. В этом случае следует ожидать аналогичного поведения и от других стеклообразных материалов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Прохоров А. М. Радиотехника, 1987, № 2, с. 12—16.
- [2] Рутус А. И. Тр. ФИАН СССР, 1982, т. 137, с. 3—80.
- [3] Hibino Y., Hanafusa H., Ema K., Hyodo S. Appl. Phys. Lett., 1985, vol. 47, N 8, p. 812—814.

Военно-воздушная инженерная академия  
им. проф. Н. Е. Жуковского  
Москва

Поступило в Редакцию  
26 октября 1987 г.  
В окончательной редакции  
11 февраля 1988 г.