

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР
(27 сентября 1989 г.)**

27 сентября 1989 г. в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. В. Б. Брагинский, В. С. Ильченко, М. Л. Городецкий. Оптические микрорезонаторы с модами типа шепчущей галереи.
2. М. И. Клиндер. Низкотемпературные свойства неметаллических стекол.

Краткое содержание докладов приводится ниже.

538.911. (048)

В. Б. Брагинский, В. С. Ильченко, М. Л. Городецкий. Оптические микрорезонаторы с модами типа шепчущей галереи. Рассмотрены свойства, приведены результаты экспериментального исследования и обсуждаются перспективы применения оптических микрорезонаторов (МР) с модами типа шепчущей галереи (ШГ).

Хорошо изучены [1] и успешно применяются в технике [2] сверхвысокочастотные диэлектрические микрорезонаторы с модами ШГ. С их помощью удалось достичь фундаментального предела СВЧ потерь в совершенных диэлектрических кристаллах и реализовать добротность $Q \approx 10^8$ при $T=77$ К и $Q > 10^9$ при $T=4$ К (дисковый резонатор из лейкосапфира диаметром $D=10$ см; длина волны $\lambda=3$ см) [3]. При сокращении размеров диэлектрического резонатора на 3—4 порядка и использовании диэлектриков с достаточно малым оптическим поглощением можно получить высокодобротный оптический резонатор. При этом использование мод ШГ (замкнутых волн, испытывающих многократное полное внутреннее отражение от границы аксиально-симметричного диэлектрического тела) представляет, по-видимому, единственную возможность достижения добротности $Q \geq 10^8$ в оптическом диапазоне при размерах резонатора, сравнимых с длиной волны. Поскольку высокая добротность сочетается при этом с малым физическим объемом V_{eff} локализации световых полей, нелинейность вещества в такой системе должна проявляться при весьма малой мощности накачки. Это свойство оптических мод ШГ представляет интерес для некоторых экспериментальных программ.

1. Существование оптических мод ШГ было впервые подтверждено в ранних опытах по стимулированному излучению в сферических образцах $\text{CaF}_2: \text{Sm}^{2+}$ [4] и в микрокаплях аэрозолей [5]. Косвенная оценка добротности мод ШГ в этих экспериментах не превышала $Q=10^4$. Нетрудно показать, что величина Q в оптическом диапазоне может быть на несколько порядков выше.

При использовании плавленного кварца (оптическое поглощение в волокнах $\alpha=10$ дБ/км при $\lambda=0,63$ мкм) внутренние потери в веществе и излучение с изогнутой боковой поверхности резонатора не препятствуют достижению добротности 10^{10} при диаметре МР $D \geq 15$ мкм. Основным фактором ограничения добротности должно быть рассеяние на поверхностных неоднородностях. Оценки показывают, что и оно не препятствует достижению $Q = 10^9$ для $D = 150$ мкм и $Q = 10^5$ для $D = 15$ мкм при типичном для стеклянных поверхностей среднем размере неоднородности $\sigma = 50$ нм.

2. Оптическая бистабильность, т. е. гистерезисная амплитудная и частотная характеристика резонатора возникает, когда амплитудно-зависимый сдвиг собственной частоты со отдельной моды за счет кубической нелинейности вещества $4\pi\omega\chi^{(3)}E^2/n^2$ (n — показатель преломления, E — электрическое поле, $\chi^{(3)}$ — кубическая нелинейная восприимчивость) превышает ширину резонансной кривой ω/Q . Пороговая мощность бистабильности определяется выражением

$$W_{\text{бист}} \approx \frac{n^4\omega V_{\text{бист}}}{32\pi\chi^{(3)}Q^2}.$$

Для кварцевого резонатора ($\chi^{(3)} = 1 \cdot 10^{-14}$ СГСЭ, $n=1,45$) с модами E_{u1} , H_{u1} при $\lambda=0,63$ мкм ($\omega=2\pi \cdot 4,7 \cdot 10^{14}$ рад/с) эффективный объем должен составлять $V_{\text{эф}} \approx 3 \cdot 10^{-11}$ см³ ($l=100$, $D=15$ мкм) и $V_{\text{эф}} \approx 2 \cdot 10^{-9}$ см³ ($l=1000$, $D=150$ мкм). При добротности $Q=10^8$ он соответствует пороговой мощности бистабильности $W_{\text{бист}} \approx 4 \cdot 10^{-7}$ Вт и $W_{\text{бист}} \approx 4 \cdot 10^{-5}$ Вт для $l=100$ и $l=1000$ соответственно. Заметим, что в существующих бистабильных резонаторах Фабри—Перо типичное значение $W_{\text{бист}}$ составляет 10^{-2} – 10^{-3} Вт.

3. Экспериментально исследованы образцы сферических микрорезонаторов из плавленного кварца диаметром от 40 до 400 мкм. С использованием перестраиваемого одночастотного He—Ne-лазера и призменного ввода излучения в них наблюдались эффективно возбуждаемые моды ШГ с типичной добротностью 10^7 — 10^8 . Максимальное измеренное значение добротности составило $Q = (3 \pm 0,3) \cdot 10^8$ в одном из резонаторов диаметром 150 мкм. Большинство наблюдаемых мод в МР диаметром менее 200 мкм обладали бистабильными свойствами при мощности накачки от 10^{-5} Вт до 10^{-4} Вт. В кварцевых МР наблюдались 2 типа бистабильности — медленная со временем отклика $\tau=10^{-3}$ – 10^{-6} с и эквивалентной восприимчивостью $\chi_{\text{эксп}}^{(3)} = 10^{-11}$ — 10^{-13} СГСЭ, соответствующая тепловой нелинейности МР, а также быстрая $\tau < 10^{-8}$ с (оценка ограничена методикой эксперимента), для которой оценка кубической восприимчивости составила $\chi_{\text{эксп}}^{(3)} = (1,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-14}$ СГСЭ, в хорошем согласии с известной величиной керровской нелинейности кварца. Более детальное описание эксперимента можно найти в работе авторов [6].

4. Помимо очевидной перспективы использования оптических МР с модами ШГ в качестве миниатюрных узкополосных оптических фильтров (в линейном режиме) следует выделить две другие важные области их возможного применения.

1) Перекрестное взаимодействие мод ШГ за счет нелинейности вещества позволяет предложить процедуру квантовневозмущающего измерения числа квантов в одной моде N_i по сдвигу резонансной частоты ω_k другой моды [7]. Оценки показывают, что сочетание малого эффективного объема с высокой добротностью мод ШГ позволяет, в принципе, осуществить такие измерения с погрешностью $\Delta N_i \leq 1$.

2) Малые размеры и рекордно низкая пороговая мощность бистабильности позволяют предложить микрорезонаторы с модами шепчущей галереи на роль базового элемента в реальном оптическом компьютере. Микрорезонатор на основе стекла с примесью $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ ($\chi^{(3)} \approx 10^{-9}$ СГСЭ, $\alpha = 10^4$ дБ/км) практически полностью удовлетворял бы набору требований [8], предъявляемых в настоящее время для дискретного бистабильного элемента оптической ЭВМ. Так, при размере $D = 4$ мкм ($l = 30$) он может иметь добротность $Q = 3 \cdot 10^4$, быстродействие $\tau \approx Q/\omega \approx 10$ пс, пороговую мощность бистабильности $W_{\text{бист}} = 4 \cdot 10^{-5}$ Вт и энергию управления на одно переключение $E_0 \approx 4 \cdot 10^{-16}$ Дж (тысяча фотонов). При ослаблении требований к быстродействию ($\tau \approx 3$ нс) и использовании более высокодобротных МР (потери в стекле с $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ допускают $Q \approx 10^7$), величина E_0 , в принципе, может быть снижена до 10^{-18} Дж (монофотонное управление).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Взятыхшев В. Ц., Добромислов В. С., Масалов В. Л., Нестеренко С. С., Потапов А. А.* // Тр. МЭИ. **1978**. Вып. 360. С. 51.
Брагинский В. Б., Вятчанин С. Я. // ДАН СССР. **1980**. Т. 252. С. 584.
2. *Минакова И. И., Панов В. И.* // Радиотехн. и электрон. **1988**. Т. 133. С. 1696.
3. *Braginsky V. B., Ilchenko V. S., Bagdassarov Kh. S.* // Phys. Lett. Ser. A. **1987**. V. 120. P. 300.
4. *Garret C. G. B., Kaiser W., Bond W. L.* // Phys. Rev. **1961**. V. 124. P. 1807.
5. *Ashkin A., Dziedzic J. M.* // Phys. Rev. Lett. **1980**. V. 38. P. 1351.
Benner R. E., Barber P. W., Owen I. F., Chang R. K. // Ibidem. V. 34. P. 475.
6. *Braginsky V. B., Gorodetsky M. L., Ilchenko V. S.* // Phys. Lett. Ser. A. **1989**. V. 137. P. 393.
7. *Брагинский В. Б., Ильченко В. С.* // ДАН СССР. **1987**. Т. 293. С. 1358.
8. *Гиббс Х.* Оптическая бистабильность: Управление светом с помощью света.—М.: Мир, 1988.

538.9(048)

М. И. Клигер. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВОЙСТВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ. В последние 20 лет было экспериментально открыто необычное поведение низкотемпературных тепловых, акустических и диэлектрических свойств неметаллических стекол, которое не характерно для кристаллов и других аморфных твердых тел и в этом смысле аномально. Так, теплоемкость C линейно растет с температурой T , а теплопроводность $\chi \propto T^2$ при очень низких $T \ll 1$ К, тогда как при умеренно низких T ($5 \text{ К} \ll T \ll 50\text{--}60 \text{ К}$) C/T^3 имеет “горб”, а $\chi \approx \text{const}$ (“плато”). Эти низкотемпературные свойства универсальны для всех (неметаллических) стекол и имеют собственную природу и в этом смысле составляют фундаментальный признак этого класса веществ. Для интерпретации таких явлений была предложена так называемая “стандартная туннельная модель” (СТМ), в основе которой лежат две гипотезы [1, 3, 4]:

1) существует малая доля $c^{(2)}$ ($\ll 1$) атомов, имеющих два близких (энергетически и пространственно) положения равновесия — двухъямный потенциал с асимметрией (разностью положений для ям) $\Delta \ll \hbar\omega_0$ и амплитудой туннелирования $J \approx \hbar\omega_0 \exp(-\lambda) \ll \hbar\omega_0$, причем частота колебаний в яме $\omega_0 \approx \omega_D$; 2) плотность распределения $P(\Delta, \lambda)$ случайных значений Δ и λ равномерна, $P(\Delta, \lambda) \approx P_0 = \text{const}$. При достаточно низких энергиях атомное движение между ямами определяется туннелированием. В результате этого возникают туннельные состояния (двухуровневые системы) — возбуждения с малой энергией $E \ll \hbar\omega_0$, которые считаются ответственными за свойства стекол при всех низких $T \ll \hbar\omega_0 / k_B \approx \hbar\omega_D / k_B$. В частности, была предсказана возможная зависимость теплоемкости от времени опыта. В рамках этой модели и аналогии “двухуровневая система — спин 1/2” удалось интерпретировать многие свойства стекол, но в основном при очень низких $T \ll 1$ К. Сравнение соотношений модели и опытных данных позволило оценить долю атомов, участвующих в воз-