

УДК 666.11.01

А.Н.Власова (4 курс, каф. ФЭ), Т.В.Бочарова, к.ф.-м.н., доц.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ РЭЛЕЙ-МАНДЕЛЬШТАМ-БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОНЕОДНОРОДНОСТЕЙ СТРУКТУРЫ

Спектроскопия Рэлей-Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния (РМБР) позволяет выявлять и оценивать роль различных неоднородностей в потерях на рэлеевское рассеяние, что существенно для разработки многокомпонентных стекол для волоконной оптики [1].

Применение спектроскопии РМБР к стеклам, активированным РЗИ, позволило прогнозировать изменение с составом эффекта сосредоточения РЗИ в микронеоднородностях матрицы (сегрегации), то есть обосновать целесообразность дальнейшего их детального исследования, с целью нахождения составов стекол, перспективных для практического применения [2].

Исследования светорассеяния привели к развитию теории молекулярного рассеяния. Физической причиной молекулярного рассеяния света является наличие флуктуаций плотности и концентрации, размеры которых меньше длины волны рассеиваемого излучения, но достаточно велики для того, чтобы для их описания можно было пользоваться термодинамическими понятиями. Основное уравнение теории представляет собой модифицированное уравнение Рэля [3]:

$$I = I_0 \frac{\pi^2}{2\lambda^4 L^2} V V (\overline{\Delta\varepsilon})^2 (1 + \cos^2 \theta), \quad (1)$$

где I и I_0 – интенсивность рассеянного и падающего излучения, соответственно; V – объем флуктуации, малый по сравнению с длиной волны света, но содержащий много молекул; $\Delta\varepsilon$ – флуктуации диэлектрической проницаемости, V – рассеивающий объем; θ – угол рассеяния; L – расстояние от рассеивающего объема до точки наблюдения.

Адиабатические флуктуации плотности можно рассматривать как совокупность упругих волн, распространяющихся в среде по всевозможным направлениям и обладающих всевозможными частотами. Тогда свет, рассеянный на таких флуктуациях, можно рассматривать как результат дифракции света на упругой волне. Проявлением этого явления в спектре будет наличие двух сателлитов с частотами, симметрично расположенными по обе стороны от частоты падающего света ω_0 [3].

Уравнение для частотных сдвигов сателлитов, полученные независимо друг от друга Мандельштамом и Бриллюэном, будет иметь вид:

$$\pm \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 2n \frac{v}{c} \sin \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

при

$$\Omega = vq = v \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \right), \quad (3)$$

где v – скорость распространения упругой волны, соответствующая частоте Ω .

Вследствие теплового движения анизотропных молекул среды возникают флуктуации ориентаций анизотропных молекул, или флуктуации анизотропии [3]. Как и другие флуктуации, флуктуации анизотропии создают оптическую неоднородность и, следовательно, рассеяние света. Очевидно, преимущественная ориентация молекул должна внести некий поляризующий эффект в рассеяние. Спектр рассеяния на флуктуациях анизотропии, представляет собой более или менее широкую полосу с максимумом, на

частоте света и простирающуюся в каждую сторону более чем на 150 обратных сантиметров. Этот спектр называют крылом линии Рэлея.

В плотных твердых телах, в отличие от жидкостей, возможно распространение как звуковых продольных, так и поперечных волн [4]. При этом можно ожидать проявления в спектрах кристаллов наличия двух дополнительных пар сателлитов, обусловленных дифракцией на поперечных звуковых волнах. В стеклах же возможно распространение только одного типа упругих поперечных волн. Являясь твердым телом, стекло обладает «упругостью формы», определяющей возможность распространения поперечных звуковых волн. В то же время, подобно жидкостям стекло можно рассматривать как слоистую структуру [5], что обуславливает возможность распространения в стеклах лишь одного вида поперечных звуковых волн. Кристаллы, имеющие упорядоченную кристаллическую решетку, характеризуются очень малым рэлеевским рассеянием. Компоненты Мандельштам–Бриллюэна (МБ) для кристаллов представляют собой три пары полос, отвечающих дифракции света на продольных и двух видах поперечных гиперзвуковых волнах. Жидкости, в отличие от кристаллов, имеют высокий уровень интенсивности рэлеевской компоненты, при этом интенсивности только одной обнаруживаемой пары МБ сателлитов сравнимы с интенсивностью центральной линии. Для стекол же, также характерно интенсивное рассеяние Рэлея, но со значительно меньшими интенсивностями боковых компонент, чем для жидкостей.

Если в случае однокомпонентных систем в основном обсуждают флуктуации плотности, связанные со структурной неоднородностью, то при переходе к жидким многокомпонентным стеклам нельзя не учитывать роли флуктуаций концентрации, связанных с химической неоднородностью.

Флуктуации концентрации возникают и исчезают в связи с конечной величиной коэффициента диффузии. Они дают вклад в интенсивность рэлеевского рассеяния.

В теории рассеяния в жидкостях широко используется соотношение интенсивностей сателлитов Мандельштам – Бриллюэна и линии Рэлея, которое, как показывает расчет и практика, часто значительно упрощает интерпретацию спектров. Отношение интегральной интенсивности центральной компоненты, или интенсивности Рэлея, к суммарной интенсивности обеих компонент-сателлитов выражается следующим образом:

$$R_{LP} = \frac{I_R}{2I_{MB}} \quad (4)$$

Успехи спектроскопии РМБР могут быть представлены следующими заключениями:

- возможно получение стекол в многокомпонентных системах с меньшими потерями на рэлеевское рассеяние, чем у однокомпонентных стекол, что ведет к новым путям развития волоконной оптики;
- доказано прямым структурным методом отличным от статистического характера распределение примесных ионов в матрице стекла, это важно при создании активных и пассивных элементов квантовой электроники;
- величина отношения Ландау-Плачека R_{LP} является критерием оптической чистоты, позволяющим прогнозировать оптическую прочность стекла.

ЛИТЕРАТУРА:

1. О.Карапетыан, Л.В.Максимов, Low-Scattering fiber optics glasses, First Intern. Sov. Fibre Optics Conf. Leningrad, March 25-29, 1991, ISFOC Proc. v. 1, p. 197 – 202.
2. А.В.Дмитрюк, Г.О.Карапетыан, А.А.Маненков, В.В.Осико, А.И.Ритус, И.А.Щербаков, Корреляция эффективности кооперативной сенсбилизации люминесценции с интенсивностью рэлеевского рассеяния, Квантовая электроника, 1977, т. 4, N 8, с. 1661
3. Г.С.Ландсберг Оптика. Наука, М., 1976
4. Карапетыан Г.О., Максимов Л.В., Януш О.В. Проявление неупорядоченности и неоднородности в спектрах рассеянного света. ВНЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова». СПб. 1992

5. Д.С.Сандитов, Г.М.Бартенев. Физические свойства неупорядоченных структур. Наука. Новосибирск. 1982