

ПОГЛОЩЕНИЕ НА ФРАКТОНАХ В ДАЛЬНОЙ ИК-ОБЛАСТИ

В. Н. Новиков, Н. Н. Овсяк

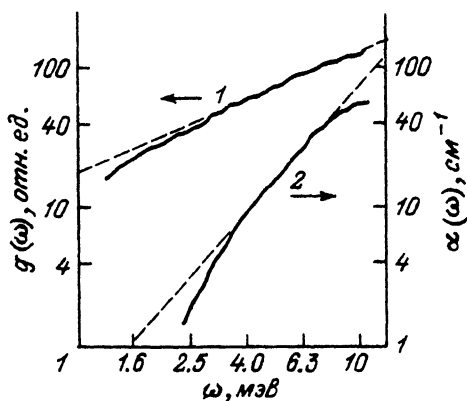
Фрактальные системы вызывают в последнее время повышенный интерес к физике неупорядоченного состояния вещества. Они возникают в большинстве моделей случайного роста, к ним относятся перколяционные кластеры, коллоидные агрегаты, пористые материалы, полимеры и т. д. Особенное внимание привлекают динамические свойства фрактальных систем [1]. В частности, свойства колебательных возбуждений на фракталах (фрактонх) исследовались с помощью неупругого нейтронного и комбинационного рассеяния [2]. В настоящей работе показано, что спектры поглощения в дальней ИК-области также дают информацию о параметрах фрактонх.

В качестве фрактального объекта был использован полимер полиметилметакрилат (ПММА). Этот материал демонстрирует фрактальное поведение на масштабах 30—60 Å. Из-за скейлинговых свойств фрактонх все спектры, которые соответствуют фрактальному режиму, имеют степенную зависимость от частоты. Следовательно, в этой области спектра коэффициент поглощения может быть записан в виде $\alpha(\omega) \sim \omega^\mu$, где показатель μ зависит от особенностей взаимодействия света с фрактонх и от фрактонной плотности состояний $g(\omega)$.

Экспериментальный спектр $\alpha(\omega)$ в ПММА был получен на Фурье-спектрометре IFS-113v «Bruker». Он приведен на рисунке в двойной логарифмической шкале вместе с низкочастотным спектром плотности колебательных состояний $g(\omega)$, измеренным с помощью неупругого нейтронного рассеяния [2]. Видно, что при частотах $\omega > 2.5$ мэВ наблюдается энергетическая зависимость с наклоном $\nu = 0.8$ для $g(\omega)$ и с наклоном $\mu = 2.2$ для $\alpha(\omega)$.

Чтобы связать показатель μ с фрактальными характеристиками материала, рассмотрим следующую модель ИК-поглощения фрактонх. Интенсивность поглощения описывается матричным элементом $M(\omega)$ и плотностью колебательных состояний $g(\omega)$. Из-за нарушения правил отбора все колебательные моды дают вклад в ИК-поглощение. В результате коэффициент поглощения $\alpha(\omega)$ пропорционален плотности колебательных состояний

$$\alpha(\omega) \propto |M(\omega)|^2 g(\omega), \quad (1)$$



Плотность состояний (1) и коэффициент поглощения (2) ПММА в log—log координатах.

где матричный элемент $M(\omega)$ взаимодействия света с фрактонх, локализованным в точке r , определяется градиентом волновой функции на фрактале и в континуальном приближении может быть записан в виде

$$M(\omega) = C \int d^D r \nabla \psi(r) \exp(ikr). \quad (2)$$

Здесь $\exp(ikr)$ описывает плоскую световую волну, $\psi(r)$ — волновая функция фрактонх и интегрирование ведется по фрактальной структуре с фрактальной размерностью D . Константа C пропорциональна упругооптической константе и содержит параметры, слабо зависящие от частоты света. В (1) принято во вни-

мание, что осцилляционный множитель $\omega^{-1/2}$ гармонических колебаний сокращается на такой же множитель $\omega^{1/2}$ электрического поля световой волны, $E(\omega) \sim \omega^{1/2} \exp(ikr)$.

Чтобы оценить матричный элемент $M(\omega)$, мы используем следующую форму волновой функции фрактана [3]:

$$\psi(r) \sim l_w^{D/2} \exp\left(-\left(\frac{r}{l_w}\right)^{d_\phi}\right), \quad (3)$$

где $l_w \sim \omega^{-\bar{d}/D}$ — длина локализации фрактана [1]; $d_\phi \approx 1$ — суперлокализационный показатель, описывающий тот факт, что экспоненциальное затухание волновой функции вдоль полимерной цепи соответствует более сильному затуханию в координатах пространства, в котором полимерная цепочка вложена. В результате для квадрата матричного элемента мы имеем

$$M^2(\omega) \sim \omega^{2\bar{d}d_\phi/D - \bar{d}}. \quad (4)$$

Принимая во внимание, что $g(\omega) \sim \omega^{\bar{d}-1}$, где \bar{d} — спектральная размерность [1], мы имеем для показателя μ формулу

$$\mu = \frac{2\bar{d}d_\phi}{D} - 1, \quad (5)$$

которая имеет такой же вид, как и для низкочастотного комбинационного рассеяния на фрактанах при соответствующей нормировке [2]. Суперлокализационный параметр может быть найден из наклона μ . При $\bar{d} = 1.8$, $D = 2$ [2] мы имеем $d_\phi \approx 1.8$, это значение находится в разумном согласии с величиной $d_\phi = 1.5$, которая была найдена при измерении комбинационного рассеяния света [2].

В заключение можно сказать, что из спектра поглощения на фрактальных структурах в далекой ИК-области можно найти ряд фрактальных параметров этих структур. В частности, ИК-данные для ПММА указывают на высокую степень суперлокализации колебаний высокочастотной части акустического спектра.

Авторы выражают благодарность Ю. А. Пусепу за помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

- [1] Alexander S., Orbach R. // J. de Phys. Lett. 1982. V. 43. N 3. P. L625—L629.
- [2] Землянов М. Г., Малиновский В. К., Новиков В. Н., Паршин П. П., Соколов А. П. // Письма в ЖЭТФ. 1990. Т. 51. С. 314—317.
- [3] Alexander S., Entin-Wohlman O., Orbach R. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. N 9. P. 6447—6457.

Институт минералогии и петрографии
СО РАН
Новосибирск

Поступило в Редакцию
6 декабря 1991 г.
В окончательной редакции
28 декабря 1991 г.