

поверхности микросталлов, как правило, реконструируется с образованием на поверхности углеродных связей различной прочности и дефектности, а хемосорбция Н конкурирует с этим процессом, восстанавливая идеальное расположение поверхностных атомов [12]. Эти процессы обычно затрагивают не более 3—4 приповерхностных слоев, т. е. области, изучаемые методом электронной оже-спектроскопии.

Следовательно, и оже-спектрами и спектрами ЭПР установлено наличие ненасыщенных связей на поверхности микросталлов ядра, а их повышенная зарядка при съемке оже-спектров по сравнению с природным алмазом свидетельствует о высокой плотности электрически активных поверхностных центров. Такие системы частиц являются термодинамически нестабиль-

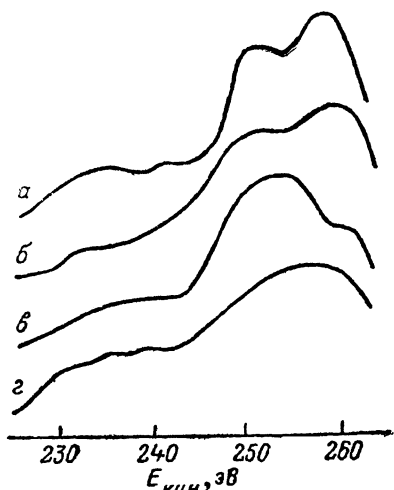


Рис. 4. Фрагмент тонкой структуры С (KVV)-спектра природного алмаза, порошка АСМ 7/5, россыпи АСМ 1/0 (а), оболочки твердого агрегата (б), графита (в), ядра твердого агрегата (г).

ными, их свободная энергия расходуется на развитие релаксационных процессов — образовании агрегатов.

Поскольку агрегация наиболее выражена в полидисперсном порошке АСМ 1/0, то можно ожидать, что конкретное гранулометрическое распределение оказывает влияние на форму, прочность и размеры агрегатов.

Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

#### Литература

- [1] Эджес Дж. С., Гарднер И. К., Лоферл Дж. В кн.: Синтетические алмазы в промышленности. Киев: Наукова думка, 1974, с. 30—31.
- [2] Кравцов А. М., Футергендлер С. И. ЗВМО, 1960, т. 111, № 4, с. 464—466.
- [3] Бреусов О. Н., Волков В. М., Дробышев В. Н., Тацый В. Ф. В кн.: Взаимодействие алмазов с газовыми и жидкими средами. Киев, 1984, с. 19—35.
- [4] Вавилов В. С., Гиппиус А. А., Конорова Е. А. Электронные и оптические процессы в алмазе. М.: Наука, 1985. 120 с.
- [5] Болдырев В. В. Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ. Новосибирск, 1983. 52 с.
- [6] Белянкина А. В., Начальная Г. А., Совин Ю. И., Шульман Л. А. Синтетические алмазы. Киев, 1975, т. 5, с. 20—23.
- [7] Власова М. В., Кажай Н. Г., Саввакин Г. И. Алмазы и сверхтвердые материалы. М., 1978, т. 2, с. 1—9.
- [8] Иванов В. Ш., Брытов И. А., Кораблев В. В. и др. Деп. в ВИНТИ, 1986, № 6359-1386. 200 с.
- [9] Lurie P. G., Wilson J. M. Surf. Sci., 1977, v. 65, N 2, p. 476—478.
- [10] Хеостов В. В. Автореф. канд. дис. М., 1985. 145 с.
- [11] Robertson J., O'Reilly. Phys. Rev. B, 1987, v. 35, p. 2946—2957.
- [12] Pate B. B. Surf. Sci., 1986, v. 165, N 1, p. 83—142.

Одесский государственный университет им. И. И. Мечникова

Поступило в Редакцию  
23 декабря 1987 г.

### САМОПОДОБНАЯ СТРУКТУРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О. Р. Бадрутдинов, Р. Р. Нигматуллин, М. Х. Салахов

В литературе уделяется большое внимание методам описания распределения плотности мощности (РПМ) лазерного излучения [1—4]. Главной особенностью РПМ, отличающей их друг от друга и присущей определенному типу и режиму работы лазера, является число

«горячих» точек в распределении, или количество максимумов. Для достаточно гладких распределений лазерного излучения рассмотренные в [1-4] методы позволяют хорошо описывать форму. Однако для случая, когда РПМ представлено большим количеством максимумов и минимумов и представляет собой резко неоднородную структуру, описание формы РПМ этими методами становится малоэффективным.

В данной работе для описания РПМ используется понятие фрактала. Представления фрактальной геометрии оказались чрезвычайно удобными и плодотворными при описании широкого класса неоднородностей в различных областях физики [5-10].

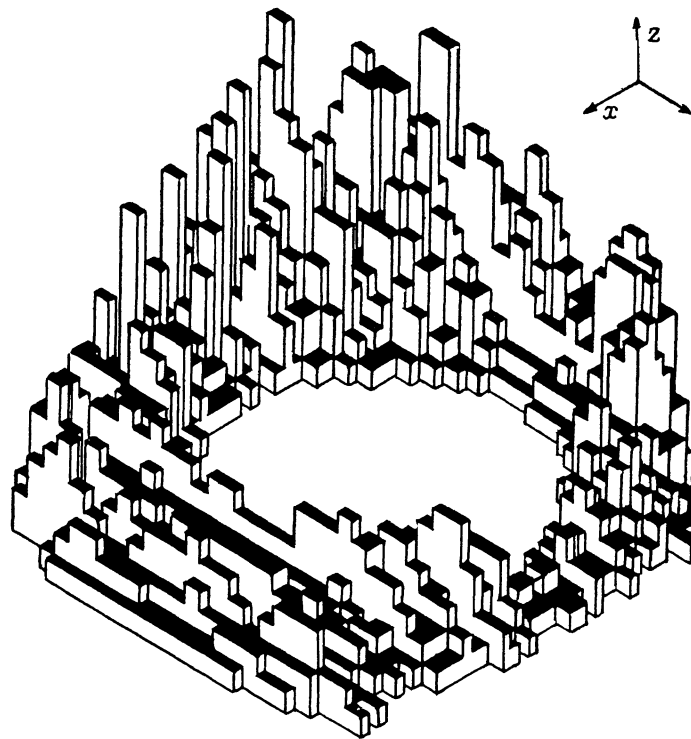


Рис. 1. Аксонометрическая проекция распределения мощности излучения в ближней зоне при  $I=18$  А, состоящая из элементарных объемов размерами  $1 \text{ мм} \times 1.6 \text{ мм} \times 0.62 \text{ Вт/мм}^2$ . Максимальные размеры распределения:  $x_{\text{max}}=y_{\text{max}}=40 \text{ мм}$ ,  $z_{\text{max}}=10 \text{ Вт/мм}^2$ ,  $V_0=x_{\text{max}} \cdot y_{\text{max}} \times z_{\text{max}}$ .

Объем регулярного фрактала характеризуется геометрическим фактором  $G_f$ , учитывающим форму элементарной ячейки, из которой построен фрактал величиной масштаба  $\eta$ , не превышающего  $\Delta$  ( $\eta \leq \Delta$ ), и размерностью  $D$ .

$$V(\eta) = G_f \eta^d \left(\frac{\Delta}{\eta}\right)^D, \quad (1)$$

где  $d$  — обычная (Евклидова) размерность пространства ( $d=3$ ). Фрактальная размерность  $D$  в свою очередь определяется выражением

$$D = \frac{\ln N}{\ln k}. \quad (2)$$

Здесь  $N$  — число подобных данному объемов, имеющих в  $k$  раз меньший, чем у данного масштаб.

Нами были проведены измерения РПМ электроразрядного технологического  $\text{CO}_2$  лазера с замкнутым контуром [11]. Измерения проводились с помощью разработанного сканирующего многоканального анализатора [12]. Сканирование осуществлялось линейкой из 64 приемников излучения, расположенных за экранирующей излучение щелью. Сбор и обработка информации с приемников ведется с помощью микроЭВМ с последующей регистрацией данных на бумажном носителе в виде зон равной плотности мощности (изозон). На рис. 1 приведен пример распределения мощности излучения в ближней зоне для случая неустойчивого резонатора с кольцевым выводом излучения. Видно, что РПМ по сечению лазерного

излучения представляет собой (в координатах  $x$  (мм),  $y$  (мм),  $z$  (Вт/мм<sup>2</sup>)) объемную фигуру с развитой поверхностью. Дальнейшая обработка экспериментального распределения заключалась в следующем. Объемная фигура РПМ заполняется плотно упакованными элементарными объемами масштаба  $\eta_k = \Lambda/k$ . Максимальный масштаб  $\Lambda$  выбирался таким образом, чтобы все РПМ полностью вписывалось в него, причем  $\Lambda = \sqrt[3]{V_0}$  (Вт<sup>1/3</sup>). Затем  $\Lambda$  последовательно делился на  $k$ -частей (в нашем случае  $k=1-6, 8, 10, 15$ ). Для каждого значения  $k$

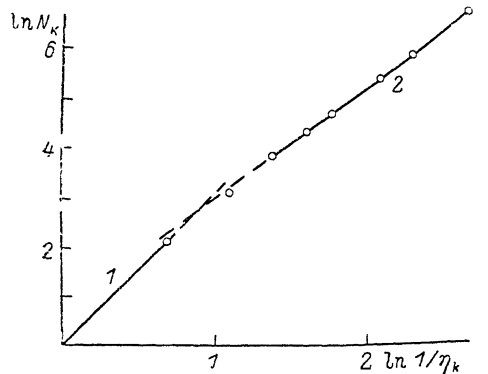


Рис. 2. Зависимость  $\ln N_k$  от  $\ln(1/\eta_k)$ , полученная при обработке данных рис. 1.

РПМ, и размерность  $D$  при достаточно больших  $\eta$  должна совпадать с Евклидовой размерностью  $d=3$ . При  $k \geq 4$  кривая для  $\ln N_k$  выходит на участок 2, которому соответствует размерность  $D_2 \approx 2.2$ . Малая размерность  $D_2$  указывает на очень развитую «рыхлую» поверхность РПМ. По этому параметру можно указывать различные РПМ у разных лазеров: чем  $D_2$  будет ближе к 3, тем однородней распределение мощности излучения в пространстве. Проведенные нами измерения при различных значениях токов  $I$  ( $I=10-22$  А) при одном и том же неустойчивом резонаторе дали примерно одно и то же значение  $D_2 = 2.2 \pm 0.1$ .

В заключение следует отметить, что представит большой интерес выяснение роли дифракции на выходном зеркале, оптической неоднородности среды, неоднородности коэффициента усиления, погрешности изготовления зеркал резонатора, его юстировки и других факторов в формировании такой самоподобной структуры лазерного излучения.

определяется полное число элементарных объемов  $N_k(\eta_k)$ , в которые попадает хотя бы часть объемной фигуры РПМ. С увеличением  $k$  увеличивается разрешающая способность построения и начинают появляться зоны «пустот» (элементарные объемы, в которые РПМ не попадает). После этого фрактальная размерность  $D$  определяется как наклон прямой, выражающей зависимость  $N_k(\eta_k)$  от  $1/\eta_k$ , построенной в двойном логарифмическом масштабе. Найденная таким образом зависимость представлена на рис. 2. Подобное поведение  $\ln N_k$  от  $\ln(1/\eta_k)$  типично для фракталов [5-10].

Участок кривой 1 соответствует размерности  $D_1=3$ . Это и понятно, так как при больших  $\eta$  в заданный объем попадает всегда часть

### Литература

- [1] Котюк А. Ф., Левченко Д. Г., Райцин А. М., Хайкин Н. Ш. Измерительная техника, 1980, № 12, с. 24—26.
- [2] Кокорина С. В., Молебный В. В. Тез. докл. V Всес. научно-техн. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М., 1984, с. 50.
- [3] Ильин Б. И., Кальцин В. А., Шиляев А. Л. Тез. докл. V Всес. научно-техн. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М., 1984, с. 14.
- [4] Коршиков В. Б., Котюк А. Ф., Тихомиров С. В., Яковлев В. А. Импульсная фотометрия, 1984, № 8, с. 150—153.
- [5] Mandelbrot B. B. In: The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman, 1983, p. 468.
- [6] Зельдович Я. Б., Соколов Д. Д. УФН, 1985, т. 146, № 3, с. 492—506.
- [7] Соколов И. М. УФН, 1986, т. 150, № 2, с. 221—255.
- [8] Proc. Symp. on Fractals in the Phys. Sciences. Maryland, USA, 1983.
- [9] Лушников А. А., Пахомов А. В., Черняева Г. А. ДАН, 1987, т. 292, № 1, с. 86—88.
- [10] Заславский Г. М., Шарков Е. А. ДАН, 1987, т. 294, № 6, с. 1362—1366.
- [11] Елов В. В., Куклин В. Н. Квант. электр., 1982, т. 9, № 9, с. 1558—1560.
- [12] Бадрутдинов О. Р., Рахимов Р. М. Тез. докл. V Всес. научно-техн. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М., 1984, с. 49.

Казанский  
государственный университет  
им. В. И. Ульянова—Ленина

Поступило в Редакцию  
29 декабря 1987 г.