

НОВАЯ ПЛОТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА C_8

Н.Н.Матюшенко, В.Е.Стрельницкий, В.А.Гусев

При конденсации потоков углеродной плазмы в вакууме впервые синтезирована и электронографически идентифицирована новая кубическая форма углерода. Она имеет кристаллическую структуру $Im\bar{3}$ (№204) с 16 атомами в ячейке. Расчетная плотность составляет $4,1 \text{ г/см}^3$, что на 15% превышает плотность кубического алмаза.

Конденсация высокоскоростных потоков углеродной плазмы на охлаждаемые подложки позволяет синтезировать и сохранять при нормальных условиях различные модификации углерода [1, 2].

В данной работе сообщается о получении новой алмазоподобной модификации углерода, плотность которой близка к плотности металлической формы алмаза. Проведена расшифровка структуры этой модификации.

Схема экспериментальной установки и методика нанесения алмазоподобных слоев описана в работе [3]. Исследования кристаллической структуры углеродных пленок проводились на электронном микроскопе ЭМВ-100Л на тонких пленках толщиной 200 – 1000 Å, нанесенных на свежий скол монокристалла КС1.

Углеродные пленки представляли собой преимущественно однородный конденсат. На микроэлектронограмме такого материала видны диффузные кольца с межплоскостными расстояниями 2,09 (2); 1,15 (4); 0,74 и 0,59 Å, свидетельствующие о высокой дисперсности "квази-аморфной" фазы (10 – 20 Å). Наряду с этим наблюдались отдельные образования, имеющие размеры от 100 до 3000 Å. От таких образований были получены монокристаллические (с осями зон [001] и [011]) и поликристаллические электронограммы (таблица), которые индицируются в кубической сингонии с периодом объемноцентрированной решетки 4,28 Å.

Электронограмма углеродной фазы

$h^2 + k^2 + l^2$	hkl	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{расч}}^{1)}$	$I_{\text{расч}}^{2)}$
2	011	3,02	3,025	100
4	002	2,13	2,139	87
6	112	1,74	1,746	11
8	022	1,52	1,513	14
10	013	1,352	1,353	69
12	222	1,234	1,235	1
14	123	—	1,144	17
16	004	—	1,070	8

1) Расчетное значение при периоде $a = 4,279$ (4) Å.

2) Расчетное значение по формуле $p |F_{hkl}|^2 d_{hkl}$, где p – фактор повторяемости, $F_{hkl} = f \cdot 4 \cdot 8 \cos 2\pi hx \cdot \cos 2\pi ky \cdot \cos 2\pi lz$, f – атомная функция рассеивания для электронов, $x = 1/6$.

Электронномикроскопически наблюдались также россыпи ограненных микрокристалликов, имеющих размеры до 3000 \AA (рис. 1, *a*): Морфология кристаллов указывает на их принадлежность к кубической сингонии. Полученная от них микроэлектроннограмма с кичучи-линиями (рис. 1, *b*) свидетельствует о высоком совершенстве полученных кристаллов. По парам кичучи-линий определены межплоскостные расстояния, которые также индицируются в объемно-центрированный куб с периодом $4,34 \text{ \AA}$, что свидетельствует о тождестве кристаллической структуры ограненных кристаллов и поликристаллических образований, наблюдавшихся в пленке.

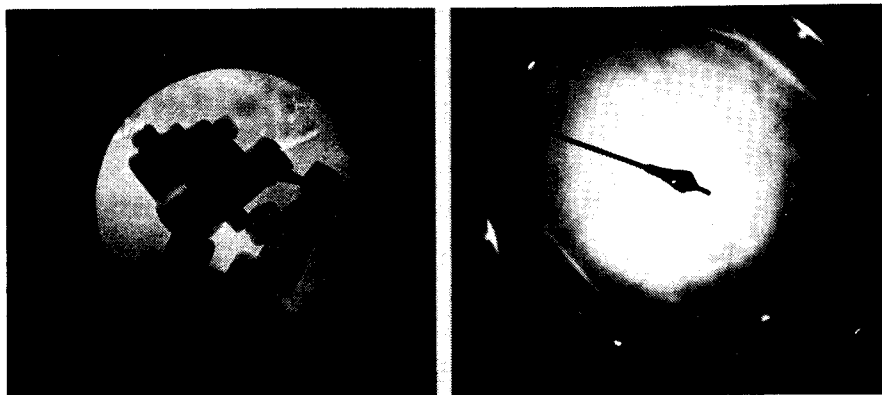


Рис. 1. Электронномикроскопические снимки высокодисперсной углеродной пленки с выделениями морфологически сформированных кристаллов: *a* – россыпь монокристаллов кубической сингонии размером до $2,8 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ ($\times 42000$), *b* – электроннограмма фазы с совершенной структурой

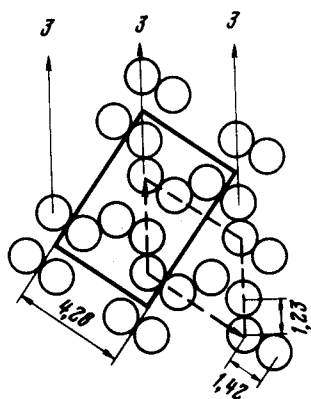


Рис. 2. Атомная плоскость (011) в структуре $Im\bar{3}$ (№204), $16c$ в $16f(x, x, x)$ при $x = 1/6$

Исходя из условий погасания объемноцентрированного куба (таблица) и структурного типа Le и Si [4], к которому из-за пропорциональности периода можно было бы отнести синтезированную углеродную фазу, была определена пространственная группа №204 с 16 атомами углерода в ячейке в позиции $16f(x, x, x)$ при $x = 1/6$. Интенсивность дифракционных максимумов для поликристалла, рассчитанная из предложенной модели, согласуется с визуальной оценкой интенсивности дифракционных колец, полученных на электронограмме.

Схематическое изображение размещения атомов углерода в данной структуре представлено на рис.2. Синтезированная фаза состоит из координационных тетраэдров, таких же, как кубический и гексагональный алмазы, но упакованных более плотно. Координационное число в данной структуре — как и у алмаза — (4), но координационный тетраэдр несколько деформирован. Исходя из количества атомов в элементарной ячейке — (16) и ее объема определена плотность материала $\rho = 4,1 \text{ г/см}^3$. Это значение превышает плотность кубического и гексагонального алмазов на 15% и близко к плотности металлической формы углерода, возможность существования которой под статическим давлением 1 Мбар была показана в работе [5]. Большая плотность полученной фазы, кристаллизующейся в мелкодисперсной углеродной пленке, по-видимому, должна определять высокие механические свойства конденсата. Действительно, алмазоподобные углеродные пленки толщиной 10 — 20 мкм обладают микротвердостью, превосходящей соответствующую величину для наиболее плотно упакованных граней (111) монокристаллов природных алмазов [6].

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
28 июня 1979 г.

Литература

- [1] Н.Н.Матюшенко, В.Е.Стрельницкий, А.А.Романов, В.Т.Толок. ДАН УССР, сер А, 5, 459, 1976.
- [2] В.Е.Стрельницкий, Н.Н.Матюшенко, А.А.Романов, В.Т.Толок. ДАН УССР, сер. А, 8, 760, 1977.
- [3] В.Е.Стрельницкий, В.Г.Падалка, С.И.Вакула. ЖТФ, 48, 377, 1978.
- [4] С.Н.Ватс, F.Dachile, R. Roy. Science, 147, 860, 1965.
- [5] Л.Ф.Верещагин, Е.Н.Яковлев, Г.Н.Степанов, Б.В.Виноградов. Письма в ЖЭТФ, 16, 382, 1972.
- [6] В.Е.Стрельницкий, И.И.Аксенов, С.И.Вакула, В.Г.Падалка, В.А.Белоус. Письма в ЖЭТФ, 4, 1355, 1978.