

ЛИТЕРАТУРА

1. *Поваренных А.С.* Основные черты кристаллохимии минералов меди и серебра. — В кн.: Проблемы кристаллохимии минералов и эндогенного минералообразования. М.: Наука, 1967.
2. *Индолев Л.Н., Невойса Г.Г., Брызгалов И.А.* Новые данные о составе сурьмяных блеклых руд и изоморфизм меди и серебра. — Докл. АН СССР, 1971, т. 199, N 5.
3. *Тимофеевский Д.А.* О первой находке в СССР фрейбергита с высоким содержанием серебра. — Докл. АН СССР, 1967, т. 176, N 6.
4. *Riley J.F.* The Tetrahedrite — Freibergite Series with Reference to the Mount Jse Pb—Zn—Ag Orebody. — Mineral. Deposita (Berl.), 1974, T 9.
5. *Kvacek M., Novak F., Draben M.* Canfieldite and Silverrich tetrahedrite from the Kutna Hora ore district. — Neues Jb. Mineral., Monatsheft. 1975, N 4.
6. *Paar W.A., Chen T.T., Günther W.* Extrem silberreicher Freibergit in Pb—Zn—Cu. Erzen des Bergbaues "Knappenstube". Hochtort, Salzburg. — Carinthia II, 1978.
7. *Некрасова А.Н., Сандомирская С.М.* Химический состав блеклых руд из вулканогенных золото-серебряных месторождений. — В кн.: Минералогические исследования месторождений цветных и благородных металлов. 1979, вып. 142.

УДК 549.211:548.74

К.Е. ФРОЛОВА, Т.М. ПАВЛОВА

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ ПРИРОДНОГО АЛМАЗА

Изучение тончайшего микрорельефа поверхности граней кристаллов алмаза дает возможность выяснить ряд особенностей процесса кристаллизации этого минерала.

В литературе имеются описания электронно-микроскопических снимков поверхности природных [1—4] и синтетических [5] кристаллов алмаза. Наиболее распространенными элементами микрорельефа граней природных алмазов являются треугольные впадины, шагреньевые узоры различной интенсивности, слои и черепитчатые узоры роста. Для синтетических алмазов, кроме обратно параллельных трехгранных и шестигранных впадин, на гранях {111} отмечены также дендритные узоры.

В настоящей работе излагаются результаты электронно-микроскопического изучения поверхности октаэдрических граней и сколов природных кристаллов алмаза.

Для исследования было отобрано три кристалла: обр. 84, 214 и 229. Все три кристалла октаэдрического габитуса, с гладкими гранями, острыми ребрами и вершинами, прозрачные, бесцветные; относятся к наиболее распространенной в кимберлитовых месторождениях разновидности I. Для извлечения включений минералов из внутренних зон кристалла, обр. 84 и 214 были разрушены. Исследовались поверхности сколов (обр. 84 и 214) и граней (обр. 229). Работы проводились в лаборатории электронной микроскопии ИГЕМ АН СССР на просвечивающем электронном микроскопе JEM-6а, причем применяли метод реплик (угольные, целлюлозо-угольные, коллодиевые, реплики с извлечением) и метод микродифракции электронов [6]. Сколы кристаллов изучались на сканирующем электронном микроскопе фирмы "Philips".

Известно, что форма алмазов разновидности I — октаэдр, и формирование кристалла происходит путем послойного нарастания граней {111}. На рис. 1 представлена микрофотография естественного скола октаэдрического кристалла алмаза (обр. 84). Видны четкие зоны роста, толщину которых можно оценить от 2 до 8 мкм. Микрофотография хорошо иллюстрирует механизм образования ступенчатой поверхности сколов, характерной для алмаза.

Электронно-микроскопическое изучение граней октаэдрического кристалла

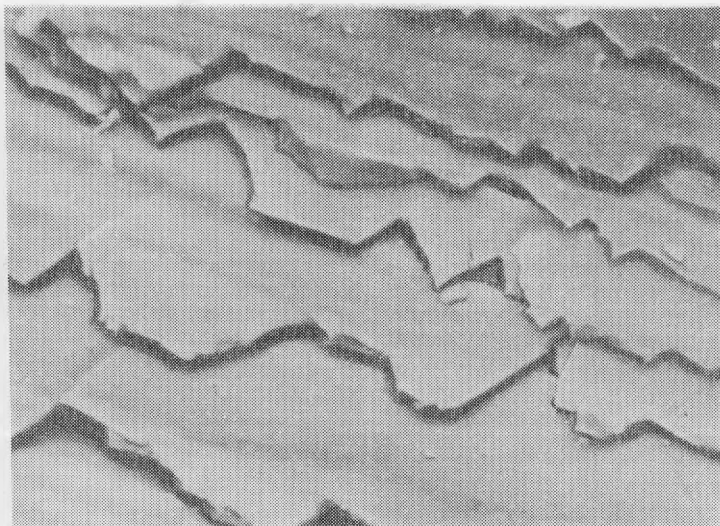


Рис. 1. Микрофотография поверхности естественного скола октаэдрического кристалла алмаза. Изображение снято на сканирующем электронном микроскопе, увел. 550

алмаза (обр. 229) методом целлюлозо-угольных и коллодиевых реплик, выявило поверхность с интересными элементами рельефа.

На рис. 2, *а* приведена микрофотография грани $\{111\}$, где на фоне тонкошагрененого рельефа выделяется нескульптурированный участок грани изометричной формы. При большем увеличении (рис. 2, *б*) проявляется структура шагреневого рельефа: он представляет собой скопление каплевидных бугорков, которые имеют примерно одинаковые размеры и равномерно распределены по исследуемой поверхности. В то же время другие участки грани характеризуются иным распределением каплевидных бугорков, которые нередко группируются вдоль полос пластической деформации, имеющих определенную ориентировку. Так, на рис. 2, *в* видны бугорки, маркирующие выход на поверхность кристалла группы взаимно-параллельных полос пластической деформации.

На одной из граней исследуемого кристалла алмаза были обнаружены необычные для природных алмазов дендритные формы роста (рис. 3). На фоне общего тонкошагрененого рельефа четко выделяются обособленные, хорошо оформленные дендриты с густыми ответвлениями. Основной ствол дендрита сильно вытянут, боковые ветви образуют асимметричный рисунок. Имеются участки грани, на которых дендриты равномерным рисунком покрывают всю поверхность. Боковые ветви таких дендритов развиты равномерно и, переплетаясь, образуют характерный тонкошагреневый рельеф. Ранее [5] дендритные формы отмечались как интересная особенность синтетических кристаллов алмаза, полученных в метастабильной области. В этих условиях выращивают хорошо ограненные прозрачные кристаллы, преимущественно октаэдрического габитуса. Образование дендритов связывают с резким падением концентрации углерода в конце процесса.

На рис. 4 видны образования сферической формы, размером приблизительно 2 мкм, с шероховатой кавернозной поверхностью, которые на первый взгляд можно интерпретировать как выступы на поверхности кристалла. Однако в действительности выступы на коллодиевой реплике, оттененной углеродом, отвечают впадинам на исследуемой поверхности (и наоборот). Это объясняется методикой приготовления коллодиевых реплик: коллодий, заливая ямки на исследуемой поверхности, создает выпуклости на контактной с поверхностью минералов стороне реплики.

Более детальное изучение таких образований показало, что дно впадин (на

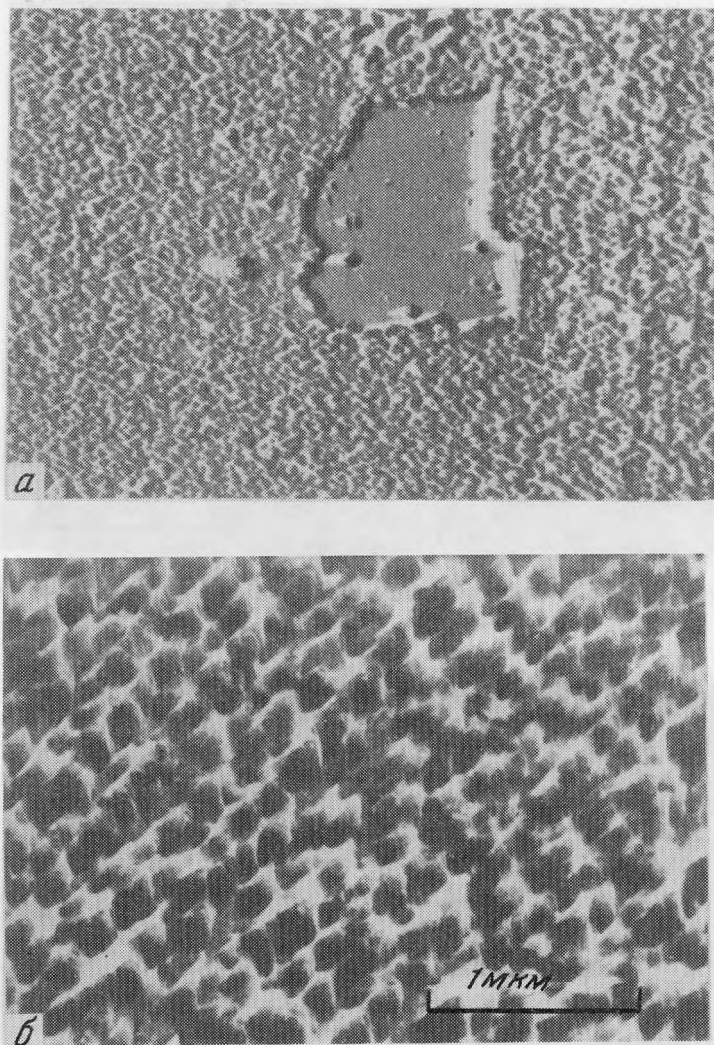


Рис. 2. Микрофотографии поверхности грани {111}. Целлюлозо-угольные реплики
a — увел. 6000, *б, в* — увел. 28000

снимке выступы) сложено предельно мелкими чешуйками (размером примерно 100—200 Å), расположенными послойно. Это дает основание предполагать, что чешуйки представляют собой углеродоподобное вещество (графит). Такая интерпретация, по-видимому, справедлива, так как в данном случае нам удалось получить экстрагированную частицу, которая согласно микродифракции оказалась плохо окристаллизованным графитом (рис. 5).

Аналогичные по форме образования ранее [1] были обнаружены при изучении микрофотографии граней {100} природных кубических алмазов и интерпретировались авторами, как камеры-каверны, которые были заполнены газообразным веществом или жидкостью (водой).

Во внешних зонах кристалла обнаружено большое количество микровключений (рис. б), изучение морфологии которых показало, что частицы в основном имеют форму, близкую к изометричной, расположены изолированно друг от друга или, реже, образуют небольшие скопления. Микровключения имеют харак-

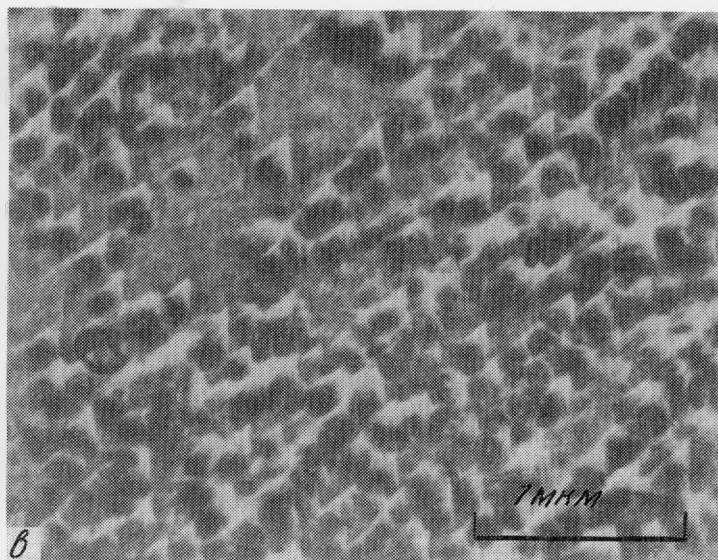


Рис. 2 (окончание)

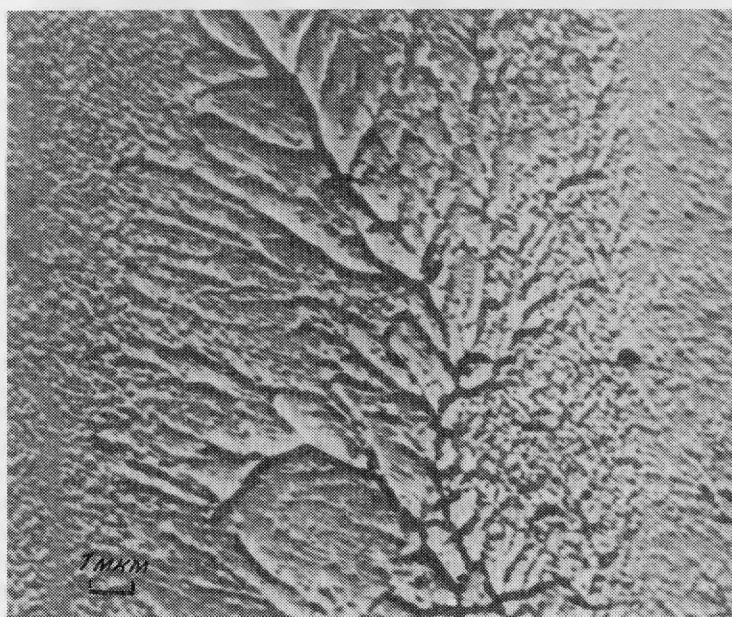


Рис. 3. Микрофотография участка грани {111} с дендритными формами роста. Целлюлозо-угольная реплика. Увел. 4000

терный рельеф, что позволяет отличать их от других скульптурных элементов микрорельефа исследуемых участков граней кристалла. Поверхность частиц часто неровная, шероховатая, но по структуре отличается от рельефа матрицы. Границы частиц четкие ровные, без постепенных переходов. Размер от 1 до 4 мкм.

Анализ дифракционных картин, полученных с некоторых извлеченных на реплику микровключений, позволяет определить их как слоистые силикаты.

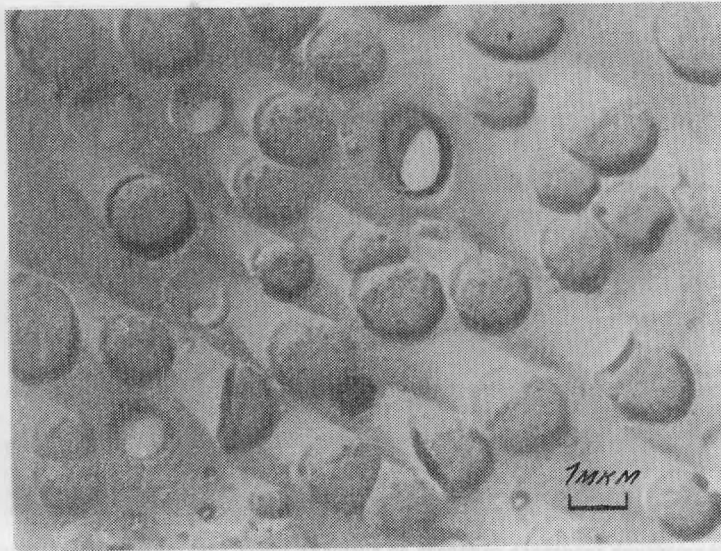


Рис. 4. Сферические впадины на грани {111}. Микрофотография, коллодиево-угольная реплика, увел. 6000

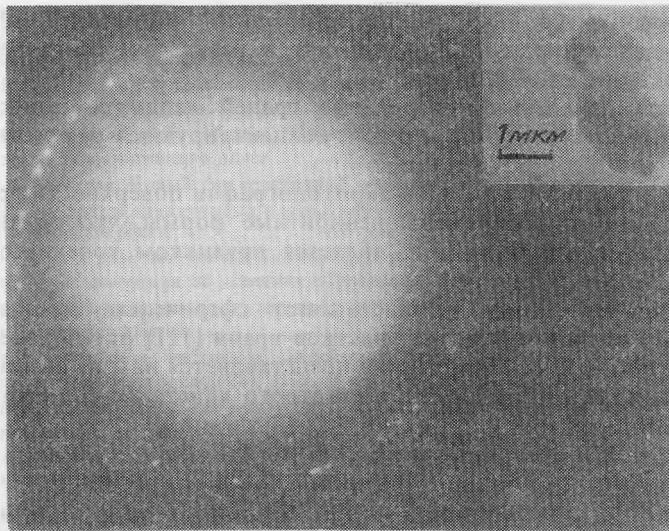


Рис. 5. Частица графита, извлеченная на реплику (в правом верхнем углу снимка) и дифракционная картина от нее. Целлюлозо-угольная реплика. Увел. 6000

Настоящие результаты электронно-микроскопического исследования природных кристаллов алмаза носят предварительный характер. Вместе с тем полученные данные, обзор которых представлен в работе, позволяют сделать определенные выводы.

1. Микрорельеф поверхности граней природных кристаллов алмаза представляет собой результат взаимодействия кристалла с окружающей средой. Он является достаточно сложным и обусловлен разнообразными скульптурными особенностями.

2. Характер микрорельефа меняется в зависимости от природы процессов,

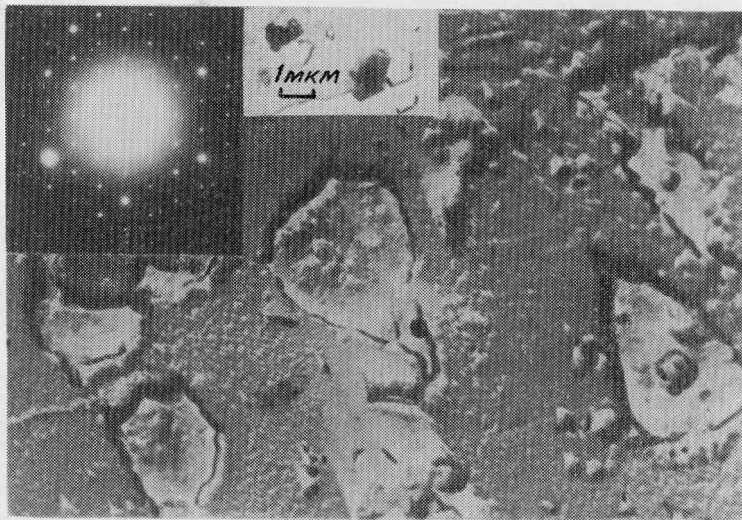


Рис. 6. Микровключения слоистого силиката во внешних зонах кристалла алмаза. Целлюлозо-угольная реплика, увел. 6000

На врезках — извлеченные частицы слоистого силиката и дифракционная картина от одной из них

сформировавших его. Так, например, рельеф, обусловленный каплевидными бугорками, возникающими, по-видимому, в результате растворения и коррозии, имеет грубошагреневый рисунок.

3. Важной деталью микрорельефа граней являются полосы пластической деформации, вдоль которых нередко концентрируются различные скульптурные элементы.

4. Кроме известных деталей микротопографии поверхности граней природных кристаллов алмаза, обнаружены дендритные формы, что по аналогии с синтетическими кристаллами алмаза, является признаком конечного этапа кристаллизации.

5. Несомненный интерес представляют сферические впадины, образующие своеобразный рельеф одного из участков грани $\{111\}$ октаэдрического кристалла алмаза. Природа этих образований представляется нам не совсем ясной.

6. Внешние зоны прозрачного бесцветного кристалла содержат большое количество микровключений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбалко С.И., акад. АН УССР Ткачук Л.Г., Кирикилица С.И. и др. К вопросу о состоянии воды в верхней мантии. — Докл. АН УССР, 1978, N 12.
2. Бартошинский З.В., Марков В.А., Полканов Ю.А. Электронно-микроскопические исследования уплощенных, сильно деформированных алмазов из россыпей Украины. — Минер. сб. Львовск. ун-та, 1977, N 31, вып. 2.
3. Tolansky S. Microstructures of diamond surfaces. London, 1955.
4. Tolansky S. Some growth characteristic of synthetic diamonds: a distinction between natural and synthetic diamond. — Ind. Diamond Rev., 1960, N 20.
5. Безруков Г.Н., Бутузов В.П., Королев Д.Ф. Некоторые кристаллографические черты синтетических и природных алмазов. — В кн.: Рост кристаллов, 1967, т. VII.
6. Грицаенко Г.С., Звягин Б.Б., Боярская Р.В. и др. Методы электронной микроскопии минералов. М.: Наука, 1969.