

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.02.018>

УДК 549.548. 211

**В.М. Квасниця<sup>1</sup>, І.В. Квасниця<sup>2</sup>, І.В. Гурненко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення

ім. М.П. Семененка НАН України

03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: vmkvas@hotmail.com

<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Навчально-науковий інститут "Інститут геології"

03022, м. Київ, Україна, вул. Васильківська, 90

E-mail: ikvasnytsya@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ КРИСТАЛІВ CVD АЛМАЗУ

Мікрокристали алмазу отримані з газу ( $C_2H_2$  і  $O_2$ ) за температури 600–1000 °С і атмосферного тиску на підкладках із молібдену. Алмазні покриття зайняли площу діаметром 5 мм на кожній підкладці, швидкість росту кристалів алмазу становила 148–160 мкм/год. Виконано електронно-мікроскопічне дослідження синтезованих кристалів алмазу. Розмір алмазних кристалів складає переважно 5–30 мкм. Окремі багатогранники, їх прості та складні зростки мають розмір 30–50 мкм, а деякі агрегати — 200 мкм. Ріст алмазу відбувся із багатьох точок кристалізації. Алмаз представлений різними багатогранниками та їх зростками і агрегатами. Великі кристали мають кубічний і кубо-октаедричний габітус, вони знаходяться в центрі покриття. Дрібні кристали є октаедрами і кубо-октаедрами, вони часто утворюють циклічні двійники за шпінелевим законом. Ці кристали виростили на крайових частинах покриття. Незвичайними складними двійниками алмазу є ікосаедри. Установлено автоепітаксійний ріст алмазу. Виявлено морфологічні ознаки відмінності кристалів алмазу залежно від розташування місця кристалізації на поверхні підкладки відносно джерела живлення і часу росту. Морфологічні особливості вирощених кристалів CVD алмазу (безліч центрів кристалізації, розмаїтість морфології, груба шаруватість, часте утворення незаконічних зростків і двійників) свідчать про значне пересичення середовища вуглецем і швидкий ріст алмазу.

*Ключові слова:* алмазні плівки, мікрокристали алмазу, морфологія, багатогранники, прості і складні двійники, агрегати, CVD кристалізація.

**Вступ.** На початку 1960-х років В. Еверсоллом (W.G. Eversole, США), Б. Дерягіним і Б. Спіциним (Росія) були отримані перші кристали алмазу у метастабільних умовах. Метод синтезу такого алмазу пов'язаний із розкладанням вуглецьвмісних газів за низьких значень тиску. З того часу синтез метастабільного алмазу здолав шлях від нанокристалів, різних алмазних плівок до ювелірних каратників. Про такий багаторазово вдосконалений метод CVD синтезу (*chemical vapor deposition* — хімічне осадження з парової фази) і отримані алмази написано сотні публікацій і десятків монографічних робіт.

Особливо багато публікацій присвячено вирощуванню алмазних плівок, серед них є декілька фундаментальних робіт [1, 3, 5, 6, 9]. У цих та багатьох інших публікаціях важливе місце відведено морфології кристалів алмазу на плівках, яку вважають добре вивченою. Відмічено, що октаедричні і кубічні кристали є звичайними серед недосконалих кристалів алмазу, також поширені кубо-октаедричні кристали і дуже часто відбувається двійниковання кристалів за шпінелевим законом — по площині (111). Серед них описані різні циклічні двійники кристалів, у тому числі ікосаедри [2, 4, 10]. Проте детальна морфологічна характеристика кристалів CVD алмазу, особливо їхніх законічних зростків належно ще не висвітлена.

© В.М. КВАСНИЦЯ, І.В. КВАСНИЦЯ,  
І.В. ГУРНЕНКО, 2019

**Мета** цієї публікації про CVD алмаз полягає в детальній характеристиці морфології його кристалів та їхніх зростків, отриманих на молібденовій підкладці, а також у розкритті еволюції форми кристалів алмазу в процесі росту.

**Зразки і методи дослідження.** Мікрокристали CVD алмазу отримані ще у 1995—1996 роках з газу ( $C_2H_2$  і  $O_2$ ) за температури 600—1000 °C і атмосферного тиску на підкладках-плівках із молібдену, кремнію і карбиду кремнію в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України [8]. Проте детальні морфологічні дослідження алмазів на двох молібденових плівках виконано тільки тепер на растровому електронному мікроскопі JSM-6700F, обладнаному енергодисперсійною системою для мікроаналізу JED-2300 (JEOL, Японія) в Інституті геохімії, мінералогії та рудотворення ім. М.П. Семененка НАН України (м. Київ). Отримання РЕМ-зображень алмазів здійснено за прискорювальної напруги 15 кВ, струму зонда  $6 \cdot 10^{-10}$  А та діаметра зонда 1—2 мкм. Отримані кристали алмазу на двох молібденових плівках займають ділянки діаметром 5 мм, швидкість їхнього росту становила 148—160 мкм/год.

#### Результати дослідження, обговорення, висновки.

**Загальна морфологія.** Отримані алмази складають на плівках покриття з полікристалічною поверхнею. Розміри алмазних кристалів знаходяться в межах 5—30 мікрон, окремі багатогранники, їхні прості і складні зростки мають розмір 30—50 мікрон, найбільшими є агрегати кристалів (до 200 мікрон). Ріст алмазу характеризується не тільки великою кількістю точок кристалізації, а й значним морфологічним розмаїттям. Алмаз представлений різними багатогранниками, закономірними і незакономірними зростками кристалів та їхніми агрегатами,

кулястими виділеннями. Морфологія кристалів алмазу центральних і периферійних частин плівок контрастна: в центрі плівок це суцільні покриття із глобул, кристалів та великих зростків (рис. 1, *a*), а крайові частини плівок (рис. 1, *b*, *c*) укриті ідеально утвореними багатогранниками, їх простими і складними двійниками.

**Багатогранники** алмазу мають октаедричний, кубічний і кубо-октаедричний габітуси. Великі багатогранники центральних частин плівок найчастіше в своїй основі є зростками, які закінчуються монокристалом. Багатогранники крайових частин плівок — це монокристали, їх прості і складні двійники. Вони значно менші за розміром від монокристалів із центральних частин плівок. Огранення деяких кристалів ускладнено вузькими смужками граней тригонтриоктаедра (?) чи ромбододекаедра (?). На гранях октаедра і куба трапляються спіралі з досить великим кроком наростання шарів. Особливо яскраво спіральний ріст проявлений на гранях куба, на яких можна спостерігати від одного до декількох місць зародження спіралей. Іноді на кристалах шари спірального росту переходять із грані куба на грань октаедра і навпаки. На рис. 2 показані типові багатогранники алмазу та їх зростки із периферійної частини плівки 1. Серед них поширені октаедри і кубо-октаедри та їх різні закономірні і випадкові зростки. Поверхні октаедричних граней більшості цих кристалів орнаментовані глобулами.

На обох плівках трапляються скелетні багатогранники, представлені двома різновидами реберників. На перших, великих монокристалах — кубах і кубо-октаедрах, скелетні форми мають вигляд западин, що займають всю площу граней куба і октаедра; а приреберні частини кристалів утворюють суцільне рамкове об-

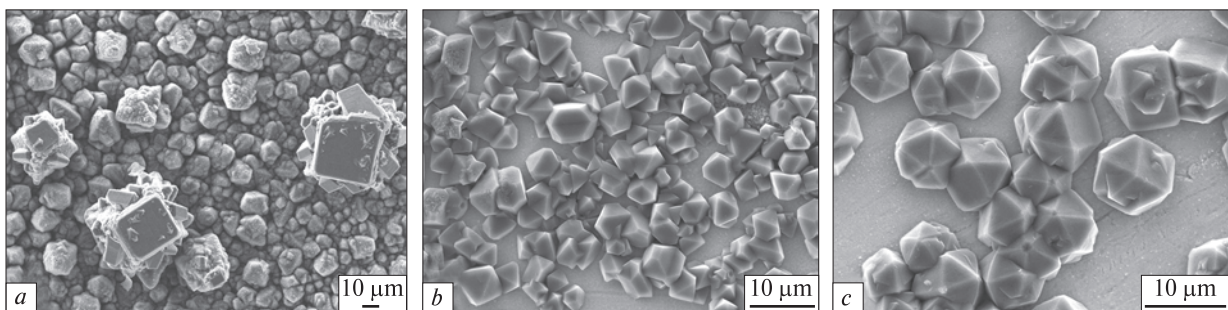
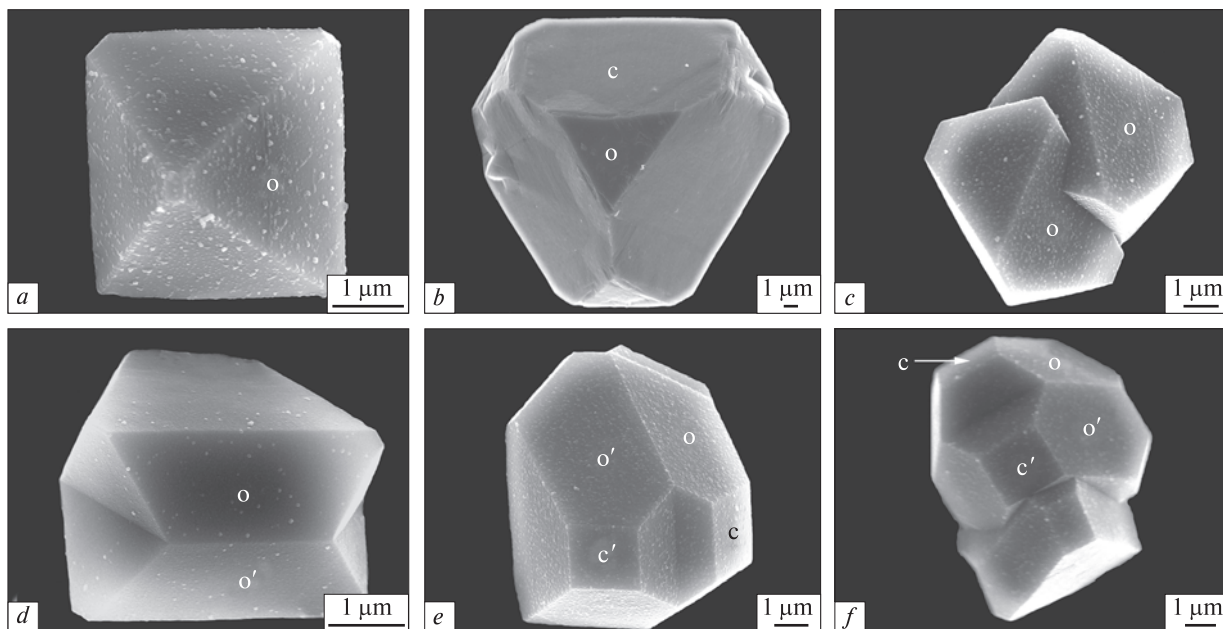


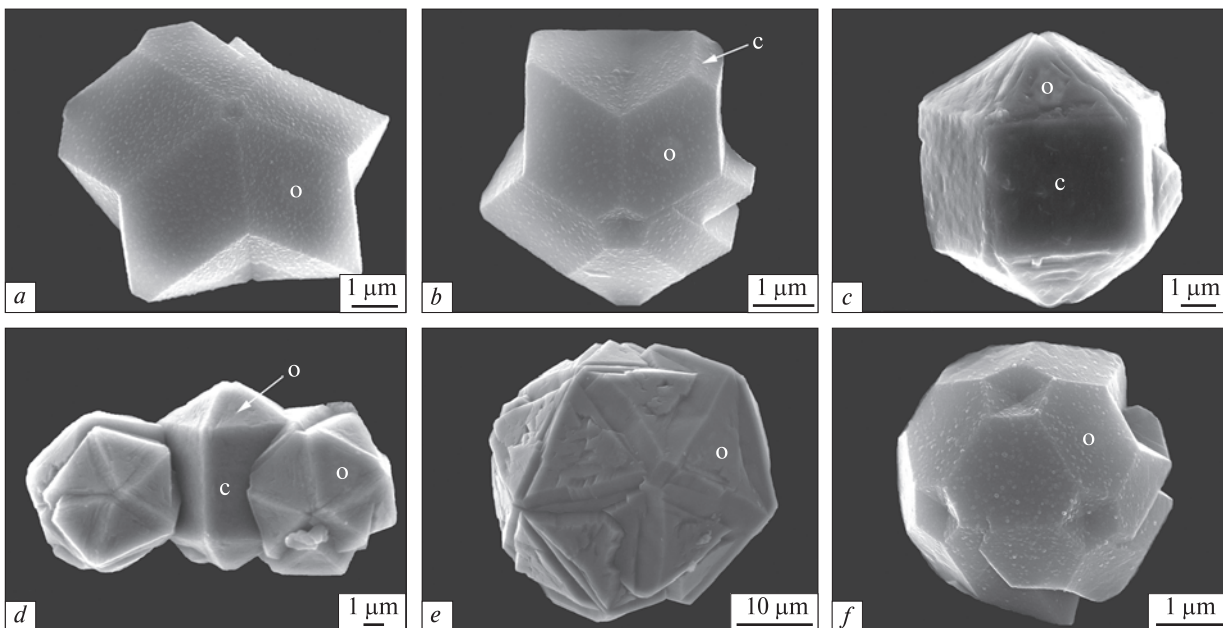
Рис. 1. Загальний вигляд кристалів алмазу на плівці 1: *a* — центральна частина; *b*, *c* — різні крайові частини плівки. Растрові електронно-мікроскопічні знімки (РЕМ знімки; JSM 6700F; LEI; 15,0 кВ; WD 15,0 мм)

Fig. 1. General view of diamond crystals on film 1: *a* — the central part; *b*, *c* — different edges of the film. Scan electron microscopic images (SEM images; JSM 6700F; LEI; 15.0 kV; WD 15.0 mm)



*Рис. 2.* Монокристали алмазу та їхні зростки, плівка 1: *a* — октаедр, *b* — кубо-октаедр, *c* — незакономірне проростання октаедрів, *d* — двійник октаедрів за шпінелевим законом, *e* — двійник кубо-октаедрів за шпінелевим законом, *f* — незакономірний зросток двійника і монокристалу. Умовні познач., тут і далі: *o* — октаедр, *c* — куб (PEM знімки; *JSM 6700F*; *SEI*; 15.0 kV; *WD*, мм: *a, c, e* — 7,5; *b* — 9,4; *e* — 7,0; *f* — 9,0)

*Fig. 2.* Single diamond crystals and their intergrowths, film 1: *a* — octahedron, *b* — cube-octahedron, *c* — irregular intergrowth of octahedrons, *d* — twin of octahedrons by shpinel law, *e* — twin of cube-octahedrons by shpinel law, *f* — irregular intergrowth of twin and a single crystal. Legend, here and thereafter: *o* — octahedron, *c* — cube (SEM images; *JSM 6700F*; *SEI*; 15.0 kV; *WD*, mm: *a, c, e* — 7.5; *b* — 9.4; *e* — 7.0; *f* — 9.0)



*Рис. 3.* Циклічні зростки багатогранників алмазу за шпінелевим законом, плівка 1: *a* — зірчастий п'ятірник октаедрів, *b* — зірчастий п'ятірник кубо-октаедрів, *c* — "дипірамідально-призматичний" п'ятірник кубо-октаедрів, *d* — зросток "дипірамідально-призматичного" п'ятірника кубо-октаедрів з двома ікосаедрами, *e* — ікосаедр із проявами вхідних двійникових кутів, *f* — класичний ікосаедр (PEM знімки; *JSM 6700F*; *a-c, f* — *SEI*, *d, e* — *LEI*, 15.0 kV; *WD*, мм: *a, b* — 7,5; *c* — 9,5; *d, e* — 15,0; *f* — 6,1)

*Fig. 3.* Cyclic intergrowths of diamond polyhedrons by shpinel law, film 1: *a* — star-like fivefold twin of octahedrons, *b* — star-like fivefold twin of cube-octahedrons, *c* — "dypiramidal-prismatic" fivefold twin cube-octahedrons, *d* — intergrowth of "dypiramidal-prismatic" fivefold twin of cube-octahedrons with two icosahedrons, *e* — icosahedron with displays incoming twin angles, *f* — classic icosahedron (SEM images; *JSM 6700F*; *a-c, f* — *SEI*, *d, e* — *LEI*, 15.0 kV; *WD*, mm: *a, b* — 7.5; *c* — 9.5; *d, e* — 15.0; *f* — 6.1)



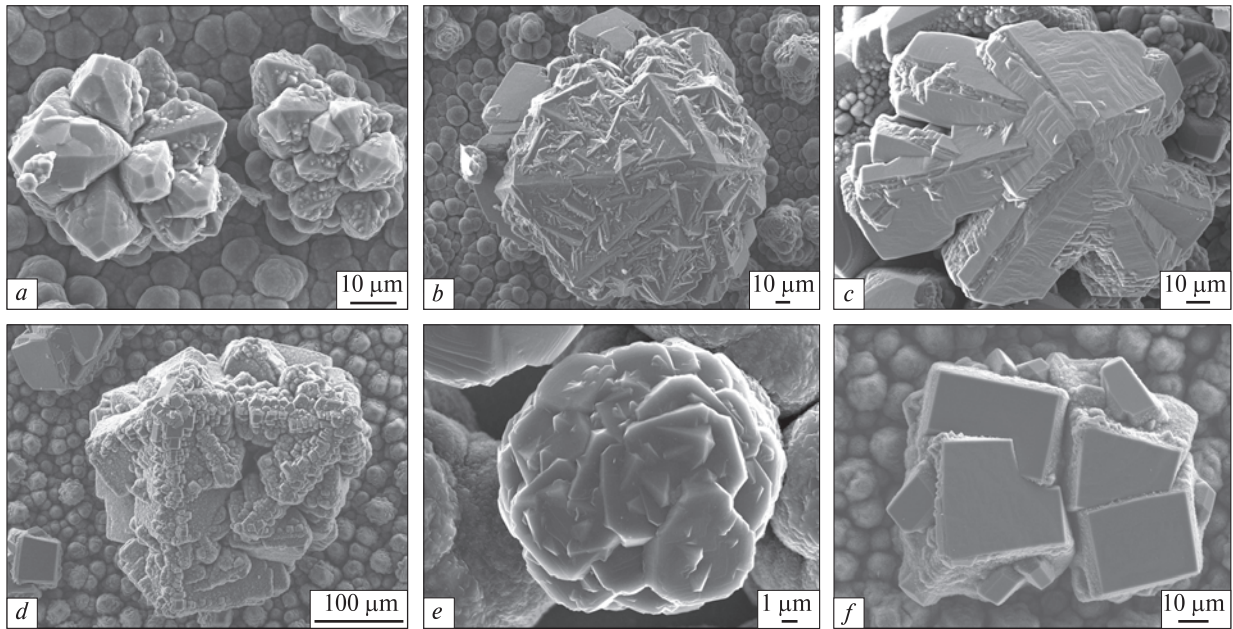


Рис. 4. Агрегати багатогранників алмазу, плівка 2 і плівка 1e: пояснення в тексті (PEM знімки; JSM 6700F; LEI; 15.0 kV; WD, мм: a–d, f – 15,0; e – 9,4)

Fig. 4. Aggregates of diamond polyhedrons, film 2 and film 1e: explanation in the text (SEM images; JSM 6700F; LEI; 15.0 kV; WD, mm: a–d, f – 15,0; e – 9.4)

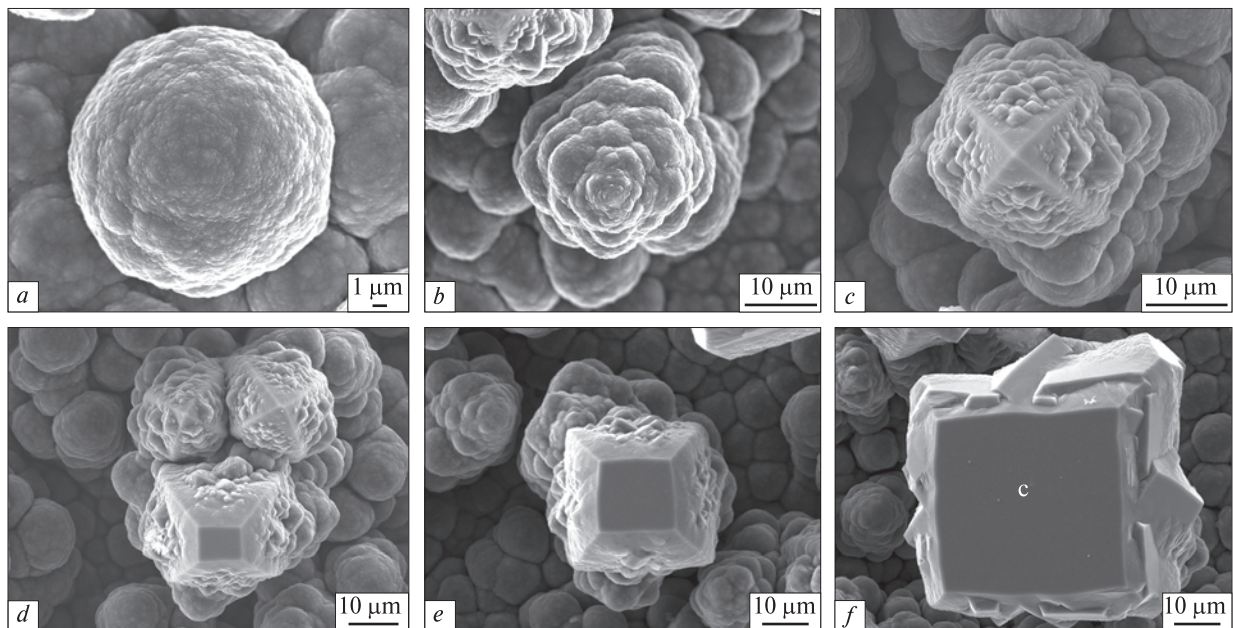


Рис. 5. Еволюція форми виділень алмазу у вертикальному розрізі алмазного покриття (знизу вгору від молібденової підкладки), плівка 2: a – глобула, b – зародки ребер октаедра на скупченні глобул, c – зародження граней октаедра, d – поява грані куба на октаедрі, e – формування кубо-октаедра, f – формування куба (PEM знімки; JSM 6700F; 15.0 kV; a, b – SEI, WD – 7,0 мм; c–f – LEI, WD – 15,0 мм)

Fig. 5. Evolution of diamond forms in a vertical profile of coating (upward from the molybdenum substrate), film 2: a – globule, b – embryos octahedron edges on cluster globules, c – appearance of octahedron faces, d – appearance of cube face on octahedron, e – formation of cube-octahedron, f – formation of cube (SEM images; JSM 6700F; 15.0 kV; a, b – SEI, WD – 7.0 mm; c–f – LEI, WD – 15.0 mm)

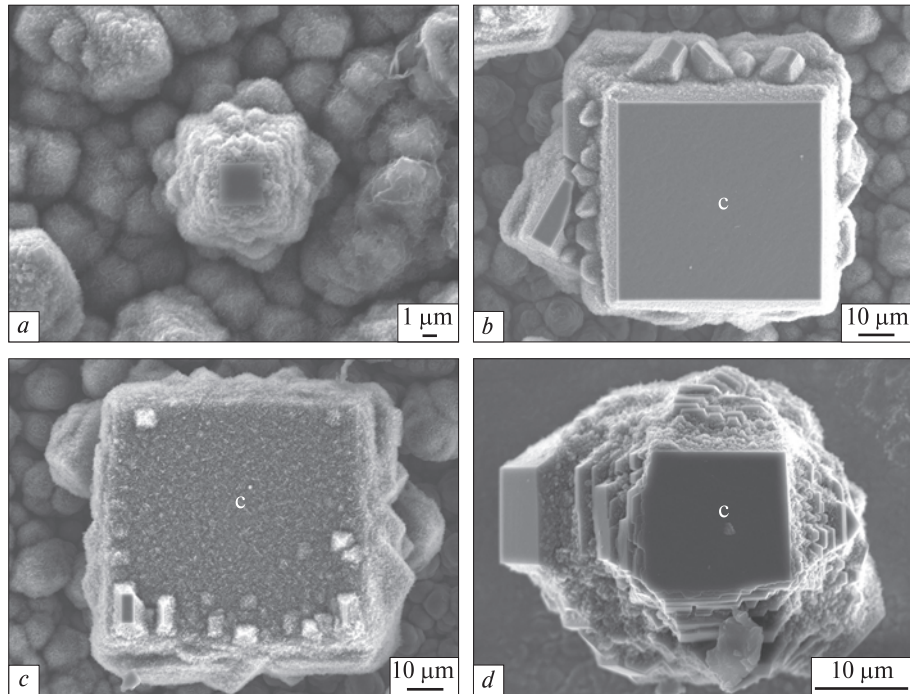


Рис. 6. Форми росту кубічних кристалів на волокнистих агрегатах, плівка 2 і плівка 1d: *a* — зародження грані куба на скупченні волокнистих агрегатів, *b* — формування кубічного кристала, *c* — автоепітаксійний ріст на грані куба, *d* — двійниковання кубічних кристалів за шпінелевим законом (РЕМ знімки; *JSM 6700F*; 15.0 kV; *a–c* — *LEI*, *WD* — 15,0 мм; *d* — *SEI*, *WD* — 9,3 мм)

Fig. 6. Growth forms of cubic crystals on fibrous aggregates, film 2 and film 1d: *a* — nucleation of cube face on the fibrous aggregate, *b* — the formation of a cubic crystal, *c* — autoepitaxial growth on the cube face, *d* — twinning of cube crystals by shpinel law (SEM images; *JSM 6700F*; 15.0 kV; *a–c* — *LEI*, *WD* — 15.0 mm; *d* — *SEI*, *WD* — 9.3 mm)

рамлення западин. На других, також нерідко великих кристалах алмазу, їх скелети складені безліччю дрібних субкристалів, що закономірно наростають уздовж ребер більших індивідів. Іноді серед утворень такого роду спостерігаються вершинники. Другі реберники (вершинники) є за своєю суттю автоепітаксійними утвореннями.

Складні закономірні зростки багатогранників є досить характерною формою реалізації *CVD* алмазу на обох плівках і властиві різним за габітусом кристалам. Серед закономірних зростків на крайових частинах плівки 1 (рис. 1, *c*) часто трапляються різні морфологічні типи п'ятірників октаедрів і кубо-октаедрів за шпінелевим законом та їх ікосаедри (рис. 3). Також часто ці зростки зібрані в агрегати.

Агрегати багатогранників є різноманітними і найбільшими виділеннями алмазу. Серед них трапляються пучкоподібні зростки октаедрів (рис. 4, *a*), масивні проростання октаедрів (рис. 4, *b*), двійникові агрегати кубо-октаедрів (рис. 4, *c*), агрегати кубів і кубо-октаедрів з проявами реберних форм (рис. 4, *d*), кулясті

агрегати кубів (рис. 4, *c*) і скупчення кубів (рис. 4, *f*).

Кулясті виділення алмазу представлені трьома морфологічними різновидами. Перший складається з численних поодиноких кристалів, незакономірно розташованих один відносно одного на зовнішній поверхні кулі. Ці утворення вельми подібні до кулястих виділень природного і штучного графіту. Представники алмазу другого різновиду зібрані з дрібніших куль і є незакономірними мікроблоковими утвореннями. Кулеподібні виділення третього різновиду також укладені мікроблоками, але з пластинчастих виділень алмазу. Найпоширенішими є кулясті виділення другого і третього різновидів.

Еволюцію форми кристалів у вертикальному розрізі алмазного покриття та в часі росту показано на рис. 5. Найнижче, на підкладці, кристалізуються глобули, які складаються із численних ксеноморфних частинок. Вище відбувається наростання глобул одна на іншу і на них з'являються ребра октаедра, а згодом і його грані. Оскільки октаедр формується на зростку



глобул, то на кожній із них закладаються ребра і грані цієї форми. Переважний ріст має октаедр, одна із четверних осей якого перпендикулярна до підкладки. Інші менші октаедричні кристали ніби вросли у головний кристал, формуючи з них численні випадкові і двійникові зростки. Пізніше на головному кристалі в процесі росту виникає субпаралельна підкладці грань куба. Завершує процес кристалізації утворення кристалів кубічного габітусу. Ці кристали посідають найвищий гісометричний рівень, є найбільшими і поодинокими на плівці, часто є агрегатами кубів.

Великі кубічні кристали також формуються на волокнистих агрегатах, проходячи в часі той самий шлях від невиразного октаедра до куба, як і на глобулах (рис. 6). На них також найкраще розвинені грані куба, субпаралельні підкладці. Ці кристали є агрегатами різновеликих кубів, у тому числі двійниками.

*Епітаксія* є також притаманним явищем для росту CVD алмазу, особливо вона виразна на багатогранниках (рис. 6, 7). На значній частині багатогранників епітаксійні нарости представлені досить добре ограненими кристалами, вони часто є реберними і вершинними формами.

Отже, ріст кристалів метастабільного алмазу відбувається у особливостях їхньої морфології: як у зовнішній формі кристалів, так і в поверхневій топографії граней кристалів. Завдяки детальному вивченню зразків найчіткіше виділяються критерії їх морфологічної відмінності залежно від місця кристалізації на поверхні підкладки відносно джерела живлення і розмірності кристалів алмазу (часу росту). Зі збільшенням розміру виділень алмазу їхня морфологія спрощується і стає досконалішою огранка — від полікристалічних кулястих утворень

до великих кубічних і кубо-октаедричних кристалів та їх зростків, що наростають на перші. Зі зниженням температури відбувається перехід від октаедра до куба та ріст їх поодинокими великими кристалами. Великі виділення алмазу (часто це незакономірні зростки) ростуть у центральних частинах плівки, тобто безпосередньо у джерела живлення. На крайових частинах плівки ростуть мініатюрні монокристали та їх зростки. У кінці процесу кристалізації трапляються прояви епітаксійного росту. Варто також зазначити, що типовим є орієнтаційний ріст кристалів алмазу, на плівці багато октаедрів і кубів алмазу намагаються зайняти позицію, коли одна з осей четвертого порядку кристала перпендикулярна до неї, тобто у випадку кубічного кристала його грань (001) субпаралельна поверхні плівки. Це явище росту CVD алмазу нагадує процес геометричного відбору у процесі росту кристалів у природі. Продовжують рости, збільшуючись у розмірах, ті кристали алмазу, які зайняли найвигідніше положення на плівці, чи навіть у межах агрегату. Великі поодинокі кристали та їх агрегати на алмазній плівці можуть свідчити також про процес перекристалізації, утворення більших кристалів алмазу за рахунок значно дрібніших.

Показовою ознакою кристалів CVD алмазу є його багата морфологія, проявлена в мікросередовищі росту. Для порівняння — майже одноманітною є морфологія кристалів мантійного алмазу в межах кожного окремого алмазоносного ксеноліту перидотитів і еклогітів із кімберлітів. У природі велике розмаїття форм мікронних кристалів алмазу в мікросередовищі поки що зафіксовано тільки як включення мікроалмазів у гранатах метаморфічних порід родовища Кумди-Коль у Казахстані [7],

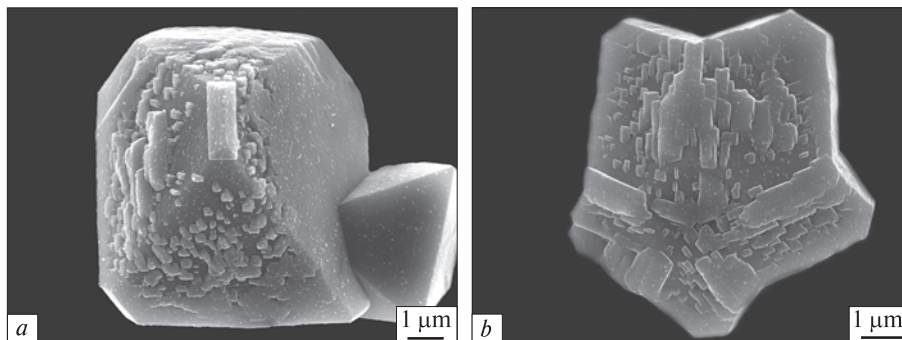


Рис. 7. Кристали алмазу з епітаксійними наростами, плівка 1: *a* — на октаедрі, *b* — на зірчастому п'ятиграннику кубо-октаедрів (РЕМ знімки; JSM 6700F; SEI, 15,0 kV; WD — 6,1 мм)

Fig. 7. Diamond crystals with epitaxial overgrowths, film 1: *a* — on octahedron, *b* — on star-like fivefold twin of cube-octahedrons (SEM images; JSM 6700F; SEI, 15.0 kV; WD — 6.1 mm)

однак їхня морфологія за багатьма показниками є своєрідною і контрастує з описаною вище морфологією кристалів CVD алмазу. Особливо це стосується наявності циклічних двійників алмазу. "Дипірамідально-призматичні" циклічні п'ятірники алмазу і його ікосаедри не виявлено серед природного алмазу взагалі. Тобто вони є характерною ознакою кристалів саме

CVD алмазу і вказують на специфіку середовища кристалізації. Морфологічні особливості вирощених кристалів CVD алмазу (безліч центрів кристалізації, розмаїтість морфології, груба шаруватість, утворення зростків і агрегатів, поширене двійникування) свідчать про значне пересичення середовища вуглцем і швидкий ріст алмазу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Asmussen J., Reinhard D.K. *Diamond Films Handbook*. CRC Press, 2002. 656 p.
2. Breza J., Kadlečiková M., Vojs M., Michalka M., Veselý M., Daniš T. Diamond icosahedron on a TiN-coated steel substrate. *Microelectronics J.* 2004. **35**, № 9. P. 709–712. doi: 10.1016/j.mejo.2004.06.020
3. Gracio J.J., Fan Q.H., Madaleno J.C. Diamond growth by chemical vapor deposition. *J. Physics D: Applied Physics*. 2010. **43**, № 37. P. 374017–374038. doi: 10.1088/0022-3727/43/37/374017
4. Hofmeister H. Shape variations and anisotropic growth of multiply twinned nanoparticles. *Z. Kristallogr.* 2009. **224**, № 11. P. 528–538. doi: 10.1524/zkri.2009.1034
5. Hwang N.M. *Non-Classical Crystallization of Thin Films and Nanostructures in CVD and PVD Processes*. Springer, 2016. 332 p. doi: 10.1007/978-94-017-7616-5
6. Kobashi K. *Diamond Films: Chemical Vapor Deposition for Oriented and Heteroepitaxial Growth*. Elsevier, 2010. 348 p.
7. Kvasnitsa V.N., Zintchouk N.N., Koptil' V.I. *Typomorphism of Diamond Microcrystals*. M.: Nedra, Business Center, 1999. 224 p.
8. Kvasnitsa V., Sandler V. The morphology of the diamond crystals grown by a gas-flaming method. *Abstr. 5<sup>th</sup> Inter. Congress on Applied Mineralogy*. Warsaw (Poland), 1996. P. 143.
9. Liu H., Dandy D.S. *Diamond Chemical Vapor Deposition. 1st Edition. Nucleation and Early Growth Stages*. William Andrew, 1996. 206 p.
10. Son S.I., Chung S.J. Multiply twinning of diamond synthesized by acetylene flame. *Z. Kristallogr.* 2004. **219**, № 8. P. 494–505. doi: 10.1524/zkri.219.8.494.38330

Надійшла 09.04.2019

#### REFERENCES

1. Asmussen, J. and Reinhard, D.K. (2002), *Diamond Films Handbook*, CRC Press, 656 p.
2. Breza, J., Kadlečiková, M., Vojs, M., Michalka, M., Veselý, M. and Daniš, T. (2004), *Microelectronics J.*, Vol. 35, No. 9, pp. 709-712, doi: 10.1016/j.mejo.2004.06.020
3. Gracio, J.J., Fan, Q.H. and Madaleno, J.C. (2010), *J. Physics D: Applied Physics*, Vol. 43, No. 37, pp. 374017-374038, doi: 10.1088/0022-3727/43/37/374017
4. Hofmeister, H. (2009), *Z. Kristallogr.*, Vol. 224, No. 11, pp. 528-538, doi: 10.1524/zkri.2009.1034
5. Hwang, N.M. (2016), *Non-Classical Crystallization of Thin Films and Nanostructures in CVD and PVD Processes*, Springer, 332 p., doi: 10.1007/978-94-017-7616-5
6. Kobashi, K. (2010), *Diamond Films: Chemical Vapor Deposition for Oriented and Heteroepitaxial Growth*, Elsevier, 348 p.
7. Kvasnitsa, V.N., Zintchouk, N.N. and Koptil', V.I. (1999), *Typomorphism of Diamond Microcrystals*, Nedra, Business Center, Moscow, RU, 224 p.
8. Kvasnitsa, V. and Sandler, V. (1996), *Abstr. 5<sup>th</sup> Inter. Congress on Applied Mineralogy*, Warsaw, Poland, p. 143.
9. Liu, H. and Dandy, D.S. (1996), *Diamond Chemical Vapor Deposition. 1st Edition. Nucleation and Early Growth Stages*, William Andrew, 206 p.
10. Son, S.I. and Chung, S.J. (2004), *Z. Kristallogr.*, Vol. 219, No. 8, pp. 494-505, doi: 10.1524/zkri.219.8.494.38330

Received 09.04.2019

*В.Н. Квасниці<sup>1</sup>, І.В. Квасниці<sup>2</sup>, І.В. Гурненко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. Н.П. Семененко НАН України  
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладина, 34  
E-mail: vmkvas@hotmail.com

<sup>2</sup> Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка  
Учебно-научний інститут "Інститут геології"  
03022, м. Київ, Україна, ул. Васильківська, 90  
E-mail: ikvasnytsya@gmail.com

#### ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ КРИСТАЛЛОВ CVD АЛМАЗА

Микрокристаллы алмаза получены из газа ( $C_2H_2$  и  $O_2$ ) при температуре 600–1000 °С и атмосферном давлении на подложках из молибдена. Алмазные покрытия заняли площадь диаметром 5 мм на каждой подложке, скорость роста кристаллов алмаза составляла 148–160 мкм/ч. Проведено электронно-микроскопическое исследование синтезированных кристаллов алмаза. Размер алмазных кристаллов составляет преимущественно 5–30 мкм. Отдельные многогранники, их простые и сложные сростки имеют размер 30–50 мкм, а некоторые агрегаты — 200 мкм. Рост алмаза проходил из многих точек кристаллизации. Алмаз представлен разными многогранниками, их сростками и агрегатами. Крупные кристаллы алмаза имеют кубический и кубо-октаэдрический габитус, они находятся в центре покрытий. Мелкие кристаллы алмаза — октаэдры и кубо-октаэдры, часто образуют циклические двойники по шпинелевому закону. Эти кристаллы выросли на краях покрытий. Необычными сложными двойниками алмаза являются икосаэдры. Установлен автоэпитаксиальный рост алмаза. Выявлены морфологические признаки различных кристаллов алмаза в зависимости от места кристаллизации на поверхности подложки относительно источника питания и времени роста. Морфологические особенности выращенных кристаллов CVD алмаза (множество центров кристаллизации, разнообразие морфологии, грубая слоистость, частое образование незакономерных сростков и двойников) свидетельствуют о значительном пресыщении среды углеродом и быстром росте алмаза.

*Ключевые слова:* алмазные пленки, микрокристаллы алмаза, морфология, многогранники, простые и сложные двойники, агрегаты, CVD кристаллизация.

*V.M. Kvasnytsya<sup>1</sup>, I.V. Kvasnytsia<sup>2</sup>, I.V. Gurnenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,  
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
E-mail: vmkvas@hotmail.com

<sup>2</sup> Kyiv Taras Shevchenko National University  
Educational-scientific institute "Institute of Geology"  
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022  
E-mail: ikvasnytsya@gmail.com

#### FEATURES OF THE MORPHOLOGY OF CVD DIAMOND CRYSTALS

Diamond microcrystals are obtained from gas ( $C_2H_2$  and  $O_2$ ) at a temperature of 600–1000 °C and atmospheric pressure on molybdenum substrates. The crystals were produced in the area of 5 mm in diameter, the growth rate was 148–160  $\mu\text{m}/\text{h}$ . SEM observations were used to study the deposited diamonds. The size of the diamond crystals is mainly 5–30  $\mu\text{m}$ . Individual polyhedrons, their simple and complex intergrowths have sizes of 30–50  $\mu\text{m}$ , and some aggregates 200  $\mu\text{m}$ . The crystals are characterized by a large number of crystallization centers as well as by their great variety, the latter depends on the size of individuals and on centers of their crystallization. Diamonds show various polyhedrons, intergrowths and aggregates. Large crystals are of cubic and cube-octahedral habit. These crystals are found at the center of the coatings. Small crystals are of octahedrons and cube-octahedrons; they often form cyclic twins according to the spinel law. These crystals grew on the outskirts of the coatings. The unusual complex twins of diamond are icosahedrons. Autoepitaxial diamond growth is also noticeable. The morphological signs of the difference between diamond crystals depending on crystallization on the surface of the substrate relative to the power source and time of growth are revealed. The morphological features of CVD diamond crystals (a host of crystallization centers, a variety in morphology, rough lamination, frequent formation of irregular intergrowths and twins) point to a considerable oversaturation of the medium with C and on a high diamond growth rate.

*Keywords:* diamond films, microcrystalline diamond, morphology, polyhedrons, simple and complex twins, aggregates, chemical vapor deposition process.