

УДК 549.08

І.О. ЄМЕЛЬЯНОВ

В.І. ТАТАРІНЦЕВ, кандидат геолого-мінералогічних наук
ДГЦУ

Практична реконструкція анатомії ограничених алмазів за рисунками фотолюмінесценції

Вставки природного алмаза досліджувались в науково-дослідницькій лабораторії Державного геммологічного центру України. Подана кратка характеристика фізических типів алмазов природного походження, приведені головні дефектно-примісний центри, зустрічаються в природних алмазах. При допомозі приладу «DiamondView™» досліджувались інтенсивність і кольору флюоресценції в поєднанні з анатомічними картинками фотолюмінесценції вставок природного алмаза. При облученні ультрафіолетовим світлом досліджувалась ростова зональність. Була досліджена 141 обмежена вставка. Для найбільш типових побудовані схеми розташування зональності во вставках і проведено геометричний аналіз картин фотолюмінесценції.

Natural diamond inserts has been studied in the research laboratory of the State Gemological Centre of Ukraine (hereinafter SGCU). Brief description of the physical types of natural diamonds is provided and also the main defect- impurity centers that occur in natural diamonds are given. The intensity and color of fluorescence combined with anatomic patterns of photoluminescence of natural diamond inserts were examined in DiamondView™. The growth zoning under irradiation with UV light was studied. More than 141 faceted inserts were explored. Zoning layout for the most typical samples was built and geometric analysis of photoluminescence patterns was conducted.

Вступ. Основною домішкою в кристалах природного алмазу є азот. Вона представлена різними азотними дефектами в кристалічній ґратці цього мінералу. За вмістом домішок азоту складена фізична класифікація кристалів алмазу з поділом на типи: Ia – азотні алмази з вмістом азоту до 0,3 ат. %, азот агрегований; Ib – азотні алмази з вмістом азоту до 0,05 ат. %, азот у формі окремих атомів, азот не агрегований, IIa – малоазотні алмази з вмістом азоту менше 20 ppm; IIb – малоазотні алмази з меншим вмістом азоту, ніж кристали типу IIa, але з домішкою бору. Серед кристалів природного алмазу домінує тип Ia (до 98 % і більше), серед кристалів синтетичного алмазу – тип Ib.

Для кристалів природного алмазу типу Ia властиві такі дефекти: А-дефект (два атоми азоту в сусідніх вузлах

кристалічної ґратки), В1-дефект (агрегація атомів азоту в площині (111) кристалічної ґратки), В2-дефект (за однією з версій, агрегація атомів азоту в площині (100) кристалічної ґратки), С-дефект (атом азоту у вузлі кристалічної ґратки алмазу). За різним співвідношенням вказаних дефектів алмази типу Ia розділяють на декілька підтипів. Для кристалів природного алмазу типу Ib характерний С-дефект.

У кристалах природного алмазу найпоширеніша блакитна фотолюмінесценція (далі – ФЛ), яка зумовлена дефектами N3 (три атоми азоту плюс вакансія, проявляється лінією 415 нм). Вона зустрічається в алмазах типу Ia з дефектами А, В1 і В2, її інтенсивність залежить від вмісту вказаних дефектів. Алмазам з інтенсивною блакитно-сильною ФЛ властивий значний вміст В1 і В2 дефектів, ніж А-дефектів. Алмази з

великим вмістом А-дефектів (більше 1020 см⁻³) мають широку смугу ФЛ у червоній області (системи 603,8, 700 і 788 нм). Алмази підтипу IaB1 мають жовто-зелену ФЛ з системою S2, інтенсивність якої корелює з вмістом В1-дефектів. Алмази з С-дефектом (тип Ib) мають жовту ФЛ (S1-дефекти), інтенсивність якої залежить від концентрації С-дефектів, які гасять ФЛ. Тільки частина алмазів типу IIa має зелену ФЛ, яку викликають НЗ- і Н4-дефекти. Серед алмазів цього самого типу лише одиничні кристали мають жовту ФЛ (S1-дефекти) і жовто-оранжеву ФЛ (дефект 578 нм).

Система N3 (415 нм) спричиняє блакитні і сині кольори ФЛ, система НЗ (503,2 нм) – зелені кольори ФЛ, системи НЗ і Н4 (496 нм) – жовто-зелені кольори ФЛ, система S1 – жовті кольори ФЛ, система 575 нм – оранжеві кольори

ри ФЛ. Часто в кристалах природного алмазу саме за кольорами ФЛ відтворюється їх зонально-секторальна будова, оскільки присутність у кристалах різної кількості дефектів по зонах росту приводить до різної інтенсивності ФЛ. Окрім того, дві головні зони росту алмазу по октаедру і кубу також захоплюють різні домішки і через їх різну ФЛ можна відтворити історію кристала.

Характеристика досліджуваних зразків. У науково-дослідній лабораторії ДГЦУ за допомогою приладу «DiamondView™» було проаналізовано 141 ограновану вставку природного алмазу. Зразки природних алмазів – безбарвні, жовтуваті камені з колекції ДГЦУ та камені, отримані для проведення гемологічної експертизи. Форма огранування каменів – круг, овал, серце, груша, маркіз, принцеса. Маса від 0,16 до 5,43 ст.

Методи досліджень. Анатомічні картини алмазних ювелірних вставок вивчалися у гемологічній лабораторії ДГЦУ за допомогою приладу «DiamondView™». Прилад був розроблений компанією «Де Бірс» спеціально для вивчення структур росту діамантів під час опромінення УФ-хвилями. В основу роботи приладу покладено опромінення зразка УФ-хвилями довжиною менш ніж 224 нм (короткі хвилі). Під час опромінення спостерігається флуоресценція досліджуваного зразка, автоматично фіксується фосфоресценція, стають помітними видимі структури росту, які відображають умови кристалізації досліджуваного каменя.

Результати та їх обговорення. Аналіз картин ФЛ здійснено для 141 вставки огранених природних алмазів. В анатомічних картинах, отриманих під час опромінення каменів у приладі «DiamondView™» (фотолюмінесценція), спостерігається зонально-секторальна будова.

Для переважної більшості вставок проявлена зональна будова кристалів у секторах росту $\langle 111 \rangle$ (рис. 1, 2). Зональність у картинах ФЛ викликана чергуванням різної інтенсивності блакитних і синіх кольорів, тобто центрами системи N3 (415 нм).

Для частини вставок у секторах росту $\langle 111 \rangle$ властиве чергування синіх і жовто-зелених кольорів ФЛ, поява останніх викликана, найвірогідніше,

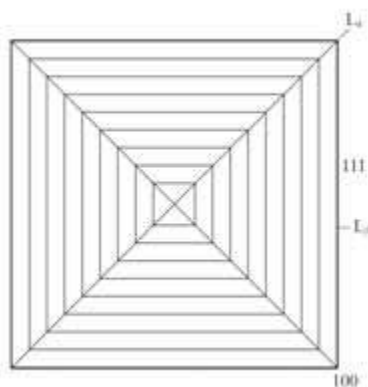


Рисунок 1. Прямокутна зональність кристалів алмазу

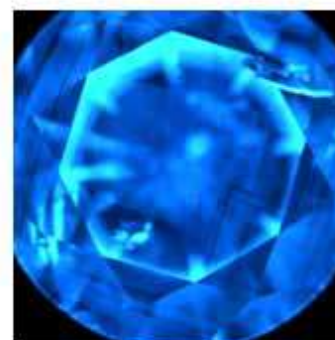
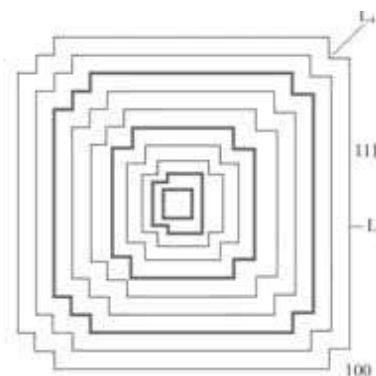
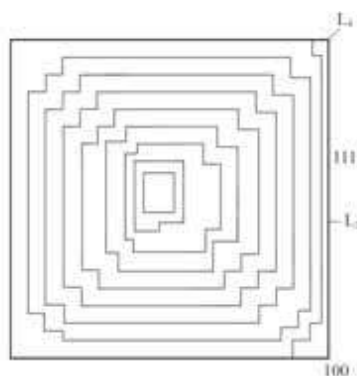


Рисунок 2. Квадратно- і прямокутно-ступінчата зональність кристалів алмазу

центрами систем N3 (503,2 нм) і N4 (496 нм).

Рідкісними є вставки так званого змішаного росту кристалів – секторами $\langle 111 \rangle$ і $\langle 100 \rangle$, відповідно сині і жовто-зелені кольори ФЛ (рис. 3).

Для багатьох вставок їх зонально-секторальна будова в картинах ФЛ

майже не проявлена або виражена не чітко. Також є рідкісні вставки з фрагментами агатоподібної анатомії (рис. 4).

Блакитна, синя ФЛ переважає у більшості вставок, жовто-зелена ФЛ зустрічається рідше (рис. 5), проте вона є характерною для кристалів алмазу

змішаного росту (рис. 3) і часто фіксується у внутрішніх зонах кристалів з домінуючою синьою ФЛ.

Геометричний аналіз картин ФЛ показує, що більшість вставок виготовлена без чіткої кристалографічної прив'язки (рис. 6), наприклад, коли вісь четвертого порядку кристала алмазу перпендикулярна до площини вставки. Це саме стосується інших головних кристалографічних напрямків у кристалах алмазу – осей другого та третього порядку. Тобто орієнтування більшості вставок щодо головних кристалографічних напрямів в алмазі є довільним.

Для діагностики природи вставок рекомендується поєднання вивчення анатомічних картин візуальної ФЛ і спектрів ФЛ. Особливо важливою є фіксація відповідних вищевказаних центрів та картин ФЛ.

Висновки. Форма і внутрішня будова алмазу залежать від умов росту кристалів. Для природних алмазів формування кристалів – це часто складний, багатостадійний процес, який характеризується зміною умов середовища з можливими уповільненнями і зупинками росту, іноді розчиненням та з можливим накладенням післяростових процесів. Антискелетний ріст кристалів природного алмазу якраз проявляється в їх ступінчатій зональності, що є діагностичною ознакою для кристалів природного алмазу. На відміну від природного, ріст кристалів синтетичного алмазу є майже одноактним процесом, неоднорідності їх будови пояснюються розвитком різних секторів росту ($\{111\}$, $\{100\}$, $\{110\}$, $\{311\}$ та інших) і зональним розподілом домішок внаслідок температурних коливань у процесі росту. Таким чином, візуалізація внутрішньої будови алмазу за допомогою ФЛ дозволяє робити діагностичні висновки щодо природи каменя.

Загальноприйнятим експресним геологічним методом діагностики природи вставок за допомогою УФ-лампи є спостереження кольору і інтенсивності люмінесценції в алмазах, які викликані двома видами ультрафіолетового випромінювання: 365 нм – довгі хвилі і 254 нм – короткі хвилі. Відомо, що зазвичай у природних алмазах інтенсивність свідчення в довгих хвилях сильніша, а в синтетичних алмазах навпаки. Така ознака підтверджується для природних алмазів, але не завжди для синтетичних.

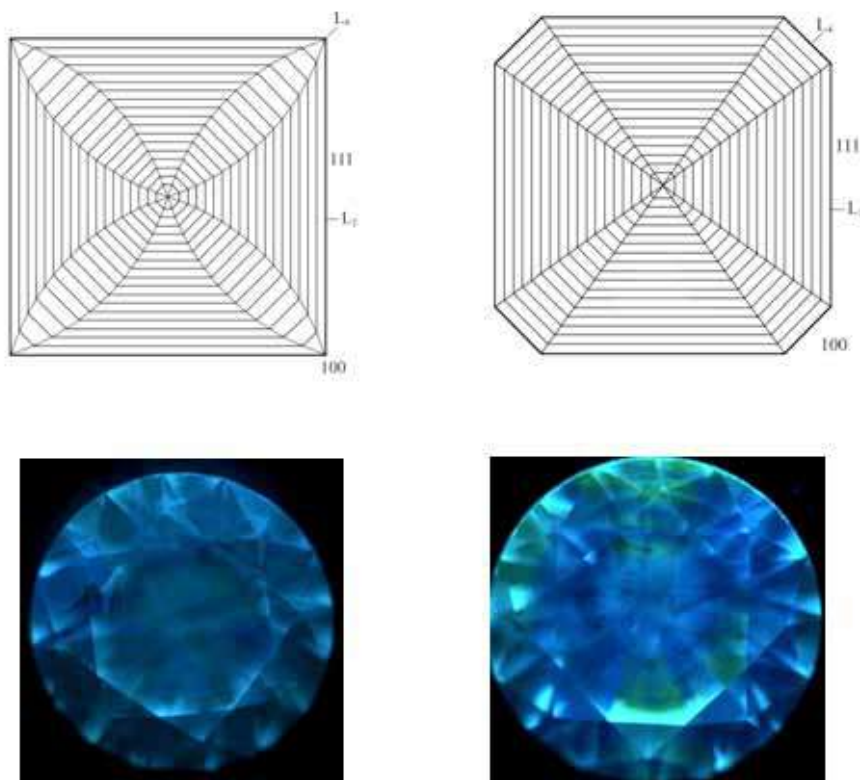


Рисунок 3. Картини змішаного росту в кристалах алмазу

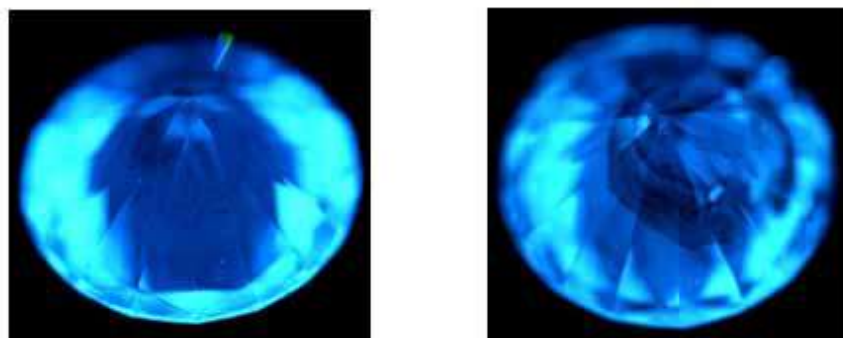


Рисунок 4. Картини агатоподібної анатомії у кристалах алмазу

Під час дослідження в приладі «DiamondView™» коричневих і жовтих синтетичних алмазів частіше зустрічається жовто-зелена люмінесценція з характерним розподілом свідчення по зонах і секторах (у вигляді хреста), іноді така люмінесценція збуджується видимим світлом. У безбарвних синтетичних алмазах поширена жовта люмінесценція, і в цьому випадку діагностичним тестом є спостереження фосфоресценції (зазвичай тривалістю більше 1 хвилини). Інтенсивність жовто-зеленої люмінесценції зростає під час високотем-



Рисунок 5. Жовтувато-зелена фотолюмінесценція ограненої вставки алмазу

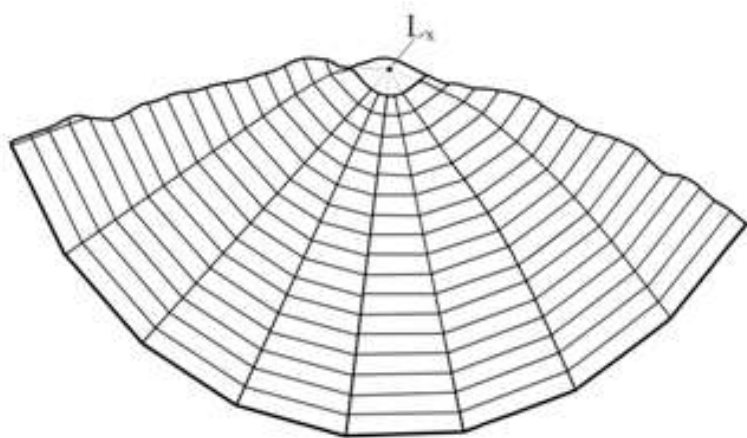


Рисунок 6. Приклад довільного орієнтування кристала алмазу під час виготовлення вставки (ідеалізована схема і вставка)

пературної обробки як природних, так і синтетичних алмазів.

Таким чином, відносна інтенсивність, колір і розподіл люмінесценції є діагностичними властивостями, однак у ряді випадків візуального спостереження або застосування тільки довго- і короткохвильових джерел ФЛ недостатньо для діагностики, і тому слід використовувати дані спектрів люмінесценції.

Автори висловлюють велику подяку за допомогу в інтерпретації картин фотолюмінесценції діамантів завідувачу відділу проблем алмазоносності Інституту геохімії, мінералогії та рудотворення ім. М.П. Семененка НАН України доктору геолого-мінералогічних наук В.М. Квасниці.

Використана література

1. Вавилов В.С., Гиппиус А.А., Конорова Е.А. Электронные и оптические процессы в алмазе. – М.: Наука, 1985. – 120 с.
2. Вечерин П.П., Журавлев В.В., Квасков В.Б. и др. Природные алмазы России – М.: Полярон, 1997. – 304 с.
3. Зайцева Т.М. Неоднородности природных алмазов октаэдрического габитуса и их влияние на качество кристаллического сырья // Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук, 1990. – М.: МГРИ. – 23 с.
4. Плотникова С.П. Особенности люминесценции алмазов в зависимости от их реальной структуры и условий роста // Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – 1981. – Иркутск: ИГУ. – 22 с.
5. Титков С.В., Марфунин А.С., Зайцева Т.М., Смольский И.Л. Внутренне строение алмазов с пониженным содержанием азотных примесей // Минералогический журнал. – 1992. – Т. 14. – № 1. – С. 18–29.
6. Якубова С.А. Изучение внутренней морфологии природных кристаллов алмаза // Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. – 1981. – М.: МГУ. – 23 с.

