

Д. Р. Андрусьєва

студентка I курсу ОР Бакалавр

спеціальність Е2 «Екологія»

науковий керівник: **А. М. Куза**

канд.геогр.наук, старший викладач кафедри гідрології суші

ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ КРИСТАЛІВ: МЕТОДИ, ПРОЦЕСИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Актуальність дослідження: Постійний розвиток методів штучного вирощування кристалів, також кристалічні матеріали відіграють важливу роль. Монокристали та полікристалічні матеріали є фундаментальною складовою багатьох передових технологій. Вони використовуються в електроніці (напівпровідники, діелектрики, п'єзоелектрики), оптиці (лазери, детектори, лінзи), енергетиці (сонячні батареї, термогенератори), медицині (біосенсори, імпланти) та багатьох інших галузях. Науково-технічний прогрес у галузі матеріалознавства призводить до розробки нових та вдосконалення існуючих методів штучного вирощування кристалів. Також зростає попит на високоякісні кристали для спеціалізованих застосувань, ринок кристалічних матеріалів є багатомільярдним і продовжує зростати. Враховуючи вищезазначене, дослідження технологій штучного вирощування кристалів, їх методів, процесів та застосувань є надзвичайно актуальним та має важливе науково-практичне значення для розвитку науки, техніки та економіки України.

Мета роботи: дослідити та систематизувати існуючі технології штучного вирощування кристалів, включаючи їхні основні методи та процеси, а також проаналізувати їх застосування в різних галузях науки, техніки та промисловості, у тому числі в Україні.

Результати досліджень та їх аналіз: Кристал - тверде мінеральне тіло як правило правильної геометричної форми (багатокутник), в якому атоми, іони і молекули розміщені закономірно, утворюючи кристалічну ґратку (рис.1). Переважна більшість мінералів зустрічається в природі у формі кристалів. Вивченням кристалів займається кристалографія [1].



Рисунок 1 – Кристали гірського кришталю і кварцу у природі

Штучні кристали - тверді хімічні сполуки кристалічної будови, утворені методом синтезу в наукових лабораторіях чи на промислових підприємствах [2]. Для штучного вирощування кристалів потрібно чимало кроків та зусиль. Технологія вирощування монокристалів з розплаву вимагає наявності системи автоматичного керування установкою вирощування монокристалів. Кристалізація - процес виділення твердої фази у вигляді кристалів, головним чином з розчинів і розплавів [2].

Першу спробу отримання штучних кристалів можна віднести до Середньовіччя, до періоду розквіту алхімії. Пізніше були синтезовані кристали багатьох дорогоцінних каменів, що знайшли поряд з природними широке застосування не тільки в якості ювелірної сировини, але і в промисловості. Перша спроба синтезу алмазу була зроблена в 1823 році засновником Харківського університету Василем Каразіним. Під час сухого перегону деревини при сильному нагріванні Каразін отримав тверді кристали невідомої речовини що, ймовірно, були графітом або його модифікаціями. Ці ранні експерименти заклали основу для майбутніх методів синтезу кристалів [3].

У 1879 році шотландський хімік Джеймс Хенней помітив виділення вуглецю у вигляді лусочок графіту, під час взаємодії лужних металів з органічними сполуками. Вчений припустив, що при проведенні подібних реакцій в умовах високого тиску вуглець може кристалізуватися у форми алмазу [4].

У 1953 році дослідницька група шведської компанії ASEA вперше в світі успішно виростила штучні алмази [5] шляхом дії надвисокого тиску ($8 \cdot 10^8$ Па) та температури 2500 °С протягом 2 хвилин (рис.2) [6].

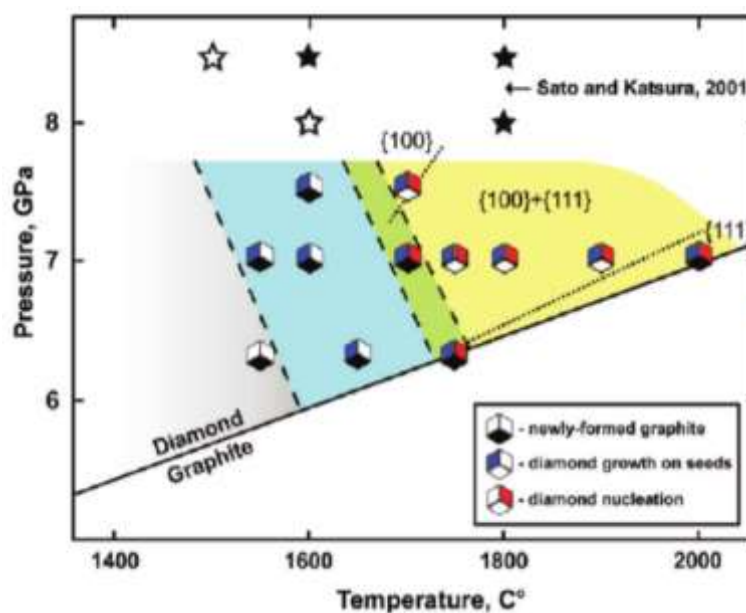


Рисунок 2 – Схема кристалізації графіту у діамант, джерело [6]

На сьогоднішній день використовуються такі методи вирощування кристалів: з розплаву (метод Чохральського), з розчину (наприклад, NaCl, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), з парової фази (наприклад, карбідів), з твердої фази (вирощування кристалів сірки, іоду та свинцю). Найбільш відомі [7]:

Метод Чохральського. Цей метод полягає в зануренні зародка кристала в розплавлений матеріал та повільному витягуванні його (рис.3) [8].

Метод Бриджмена. У цьому методі розплавлений матеріал охолоджується з одного кінця контейнера, що дозволяє формувати кристал.

Метод флюкційного вирощування. Цей метод використовує розчинник для розчинення вихідного матеріалу та подальшого зростання кристала.

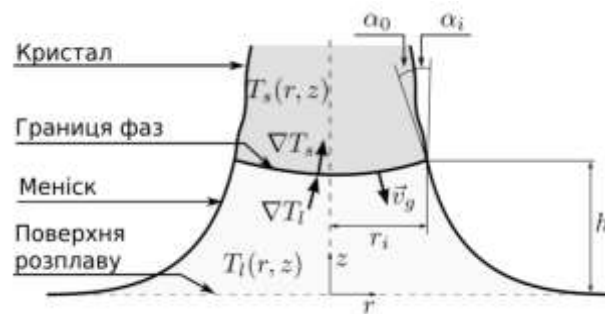


Рисунок 3 – Границя фаз у методі Чохральського [8]

При кристалізації з розплаву методи вирощування поділяються на групи залежно від способу відведення тепла [9]:

- 1) зміна температури при нерухомому тиглі;
- 2) переміщення кристала в полі температурного градієнта;
- 3) переміщення тигля або печі в полі температурного градієнта;
- 4) безтигельні методи.

Переваги штучного вирощування кристалів:

- точність - контрольовані умови дозволяють отримувати кристали з точно визначеними розмірами та формами;

- чистота - штучні кристали характеризуються високою чистотою, що є важливою для їхніх електронних та оптичних властивостей

- спеціальні властивості - за допомогою модифікації процесу можна створювати кристали з унікальними властивостями, що відповідають специфічним потребам.

Монокристал – це окремий однорідний кристал, який має безперервну кристалічну ґратку, зовнішня форма залежить від атомно-кристалічної будови та умов кристалізації [1]. Кристали, які вирощувались за малих швидкостей мають добре сформовану природну огранку (монокристали кварцу, кам'яної солі, ісландського шпату, алмазу, топазу). Якщо швидкість вирощування кристалу висока, то відбувається утворення

полікристалів, які складаються з великої кількості по різному орієнтованих монокристалів [9]. Монокристали високочистих речовин мають однокові властивості не залежно від методу отримання.

Кристали використовуються для створення напівпровідникових пристроїв, таких як мікросхеми та транзистори. Сучасне промислове виробництво широко застосовує монокристали діелектриків та напівпровідників, таких як монокристали кремнію та інтерметалідів, що є основою електромеханічних приладів [10, 11].

Кристали знаходять застосування в оптиці: лазерах, світловодах та інших оптичних пристроях. В фотонних кристалах існують так звані заборонені енергетичні зони – це значення енергії фотонів, за якої вони не можуть проникати у кристал і розчиняються у ньому [10, 11].

Штучне вирощування кристалів в Україні:

1) Інститут монокристалів НАН України (Харків). Є одним із провідних центрів з вирощування монокристалів в Україні, спеціалізується на дослідженнях та розробці технологій вирощування кристалів для різних галузей науки і техніки. Першим в Україні створив методику вирощування кристалів сцинтиляційних матеріалів на основі оксидів.

2) Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України (Харків), займається розробкою технологій вирощування кристалів вольфраматів, молібдатів та халькогенідів. Досліджується вплив умов одержання на функціональні, структурні та сцинтиляційні властивості матеріалів.

3) Навчально-наукова лабораторія росту кристалів (Волинський національний університет імені Лесі Українки): проводить наукові дослідження, що стосуються вирощування халько- та галогенідних монокристалів з покращеними характеристиками.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова відіграє важливу роль у розвитку технологій штучного вирощування кристалів в Україні. У межах освітніх програм, зокрема курсу «Геологія з основами геоморфології», «Мінералогія та кристалографія», студенти вивчають різні методи вирощування кристалів, такі як гідротермальний синтез, методи сублімації, епітаксії та інші. Ці знання не лише сприяють підготовці висококваліфікованих фахівців у галузі матеріалознавства та нанотехнологій, але й мають практичне застосування в різних сферах, включаючи медицину, енергетику та екологічний моніторинг.

Штучне вирощування кристалів в Україні - це стратегічна інвестиція у сталий розвиток держави. Отже, діяльність навчальних закладів України, в тому числі і ОНУ ім. І. І. Мечникова, сприяють сталому розвитку України.

Висновки:

1. Технології штучного вирощування кристалів продовжують розвиватися, відкриваючи нові можливості для науки та промисловості.

2. Історія розвитку демонструє перехід від емпіричних експериментів до строго контрольованих фізико-хімічних процесів,

здатних забезпечити отримання високоякісних кристалів із заданими параметрами, такі як монокристали для розвитку електроніки та фотоніки.

3. Подальші дослідження у галузі фотонних кристалів відкривають перспективи для створення нових типів оптичних та квантових пристроїв.

4. В Україні існують провідні наукові заклади, які створюють конкурентоспроможні штучні кристали.

5. Студенти ОНУ імені І. І. Мечникова проходять курси дисциплін «Геологія з основами геоморфології», «Мінералогія та кристалографія», де вивчають різні методи вирощування кристалів. Ці знання сприяють підготовці висококваліфікованих фахівців у галузі матеріалознавства та кристалографії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вовк В. М. Геологічний словник : для студентів вищих навчальних закладів. Кіровоград : «КОД», 2012. 504 с. ISBN 978-966-1508-92-6.

2. Павлишин В.І., Довгий С.О. Мінералогія : підр. Київ : КНТ, 2008. Ч. 1. 536 с.

3. Коваленко В. С. Розвиток технологій штучного кристалотворення в історичному контексті. *Наукові записки КНУ*, 16(2), 2019, С. 55-61.

4. В. М. Колодніцький, Н. І. Колодніцька. Від відкриття О.І.Лейпунського до досягнень творців українських алмазів / *Значні дати, історія*. 2019. С.3-12.

5. Bundy, F. P., Hall, H. T., Strong, H. M., & Wentorf, R. H. (1955). Man-made diamonds. *Nature*, 176, PP. 51–55.

6. I. Kupriyanov, Yuri M. Borzdov, A.Khokhryakov Diamond Crystallization from a Sulfur–Carbon System at HPHT Conditions / *Crystal Growth and Design* Pub Date: 2009 DOI: 10.1021/cg900265c

7. Vegad M., Bhatt N. Review of some aspects of single crystal growth using Czochralski crystal growth technique // *Procedia Technology*. 2014. Т.14. PP. 438-446

8. Winkler J., Neubert M., Rudolph J. A Review of the Automation of the Czochralski Crystal Growth Process / *ACTA PHYSICA POLONICA*. 2013.Vol. 124, no. 2. PP. 181-192.

9. Сколоздра О. Є. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія :навч. посіб. Луцьк : Вид. центр ЛНТУ, 2010. 240 с.

10. Кристалохімія: Конспект лекцій для студ. спеціальностей 014 Середня освіта (Хімія), 102 «Хімія». Видання перше / Укладач: О.М.Строк. Луцьк: П “Зоря–плюс” ВОО ВОІ СОІУ, 2020.95 с.

11. Використання кристалів у техніці . Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії КПІ ім. Ігоря Сікорського. <https://compnano.kpi.ua/information/shtuchni-krystaly-v-suchasniy-tekhni/si/>