

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА САПФІРА

Стаднік Д. В.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Стрількова Т. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, просп. Науки, 14, каф. Мікроелектроніки, електронних

приладів та пристроїв, тел. (057) 702 13 62

e-mail: daniil.stadnik@nure.ua

The report considers the main technologies of sapphire production. A review of methods for obtaining leucosapphire by technologies based on Czochralski's methods; Stepanova; Verneil; vertically directed crystallization; Bridgman-Stockbarger; Kiropoulos; zone melting; horizontally directed crystallization.

Штучний сапфір (лейкосапфір) - це унікальний матеріал, який є різновидом корунду і представляє собою безбарвний прозорий мінерал, оксид алюмінію  $Al_2O_3$ . З причини обмеженості природних мінералів і їх високу вартість (коштовності) для технічних цілей штучно вирощують сапфіри, максимально наближені за фізико-хімічними властивостями природних. Матеріал поєднує в собі високу твердість, міцність, хімічну і радіаційну стійкість, високу температуру плавлення і оптичну прозорість, що робить його незамінним в мікро- і оптоелектроніки, оптиці і приладобудуванні, медичної та годинникової промисловості, автомобілебудуванні, а також в авіаційній і ракетно-космічних галузях.

В даний час продукція, що отримується з синтезованих монокристалів (сапфірів), володіє досить високою споживчою вартістю, на неї сформований стійкий попит в таких галузях, як мікроелектроніка та оптоелектроніка [1]. Наприклад, створювані на основі світловипромінювальних діодів високої яскравості електронні компоненти і виробі є ресурсозберігаючими: споживають меншу кількість енергії і виділяють менше тепла. Сьогодні існує досить велика кількість методів вирощування монокристалів технічного сапфіра, які можна класифікувати за тими чи іншими ознаками. Найбільш перспективними і часто вживаними через можливості отримання досить великих кристалів при високих швидкостях росту є методи отримання кристалів з розплаву. Проте, існують і застосовуються на практиці методи кристалізації штучного сапфіра з газової фази або розчину. Говорячи про методи вирощування монокристалів штучного сапфіра з газової фази, можна відзначити, що основними перевагами такого підходу є можливість забезпечення кристалоутворення при відносно низьких температурах, легкість управління складом і слабкий вплив тигля на процес кристалізації. Незважаючи на очевидні плюси цих методів їх поширеність в промисловості несуттєва в силу одного недоліку - шляхом кристалізації з газової фази можна отримувати кристали дуже обмежених розмірів.

Іншим способом вирощування кристалів штучного сапфіра є вирощування з розчинів (наприклад, спосіб флюсу). Його суть полягає в розчиненні вихідного матеріалу і перенесення розчинених компонентів у відносно менш нагріту зону, де і відбувається зростання кристалів. Швидкості росту кристалів при вирощуванні методом флюсу значно поступаються швидкостям росту кристалів з розплаву. Навіть при дуже тривалому процесі розміри таких кристалів не перевищують декількох сантиметрів. Більше половини технічно важливих кристалів сапфіра вирощується з розплаву [2]. Суть даного підходу полягає в тому, що вихідний матеріал спочатку розплавляється, а потім кристалізується при ретельно контрольованих умовах. Існує досить велика кількість методів отримання лейкосапфіра за такою технологією, а саме: методи Чохральського, Степанова, Вернейля, метод вертикально спрямованої кристалізації (ВНК), методи Бріджмена-Стокбаргера, Кіропулоса, зонна плавка, метод горизонтально спрямованої кристалізації (ГНК) і інше.

Метод Чохральського в даний час є одним з найбільш широко застосовуваних методів отримання монокристалів технічного сапфіра. Його основні переваги полягають в тому, що зростання кристала здійснюється у вільному просторі без контакту зі стінками тигля, що забезпечує простоту зміни діаметра зростаючого кристала і візуальний контроль, а також в можливості отримання кристала з розплаву на будь-якому етапі вирощування [2]. У той же час даний метод має низку недоліків, основним з яких, є необхідність в тиглі, який часто є джерелом забруднень. Крім того, вирощувані цим методом кристали володіють хімічною неоднорідністю, що виражається в монотонному зміні складу послідовних шарів кристалу вздовж напрямку росту. В даний час існують різні модифікації даного методу вирощування монокристалів. Наприклад, метод Степанова, застосовуваний для вирощування профільованих кристалів і відрізняється високою швидкістю отримання кристала, високою продуктивністю, можливістю отримання профілів сапфіра, які неможливо отримати шляхом механічної обробки, але, в той же час, високою щільністю структурних дефектів. Процес управління кристалізацією для установок по методу Чохральського можна назвати одним з найбільш автоматизованих і доведеним до високого технічного рівня. Надійні системи управління і автоматизації створюються на підставі оптичного сканування, проте слід зазначити, що застосовується для вирощування кристалів за цим методом обладнання є досить дорогим, що позначається на вартості кристалів.

Список використаних джерел:

1. Krylova G.I., Repina O.V., Munchaev A.I. Abstract of Ninth National Conference on Crystal Growth, Moscow, 2015, 436 pp.
2. Dobrovinskaya E., Litvinov L., Pishchik V. Sapphire and Other Corundum Crystals. Kharkiv: Folio. Institute for Single Crystals, 2018, 349 pp.