



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93840 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
C30B 11/00
C30B 29/12 (2011.01)
C01D 3/12 (2011.01)
C01D 17/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ НА ОСНОВІ ЙОДИДУ НАТРІЮ ТА ЙОДИДУ ЦЕЗІЮ

1

(21) a201006854
(22) 03.06.2010
(24) 10.03.2011
(46) 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.
(72) ВАСЕЦЬКИЙ СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ, ЗАСЛАВ-
СЬКИЙ БОРИС ГРИГОРОВИЧ, КОЛЕСНИКОВ
ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, ТИМОШЕНКО
МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ
(73) ІНСТИТУТ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
НАН УКРАЇНИ
(56) SU 1431392 A1, 15.03.1993
SU 1039253 A1, 15.04.1993
SU 1304442 A1, 20.01.1997
RU 2338815 C2, 20.11.2008
US 4030965 A, 21.06.1977
US 4076574 A, 28.02.1978
Tymoshenko M.M., Goriletsky V.I., Vasiliev V.V. et al.
Effect of growth atmosphere composition on heat and

2

mass transfer continuous growth of scintillation crystal
from melt // Functional Materials. – 2008. - V.15, № 3.
– P.438-441

(57) Спосіб вирощування монокристалів на основі
йодиду натрію та йодиду цезію, що включає зава-
нтаження вихідної сировини в тигель, його нагрі-
вання в вакуумі в ростовій камері до заданої тем-
ператури, заповнення камери інертним газом,
розплавлення сировини та наступне вирощування
кристала при тиску інертного середовища 0,01-0,2
атм., який **відрізняється** тим, що, після стадії ра-
діального розростання та досягнення висоти крис-
тала, що дорівнює 0,5 D, де D - діаметр кристала,
поступово, протягом 2-4 годин, змінюють склад
інертного середовища в об'ємі ростової камери
шляхом введення 10-20 об. % гелію, при збере-
женні вихідного тиску газової атмосфери в росто-
вій камері.

Вінахід відноситься до області вирощування
монокристалів (МК) і може знайти застосування
при виробництві великогабаритних лужногалоїд-
них МК, зокрема, оптичних та сцинтиляційних, на
основі йодиду натрію та йодиду цезію.

Склад атмосфери ростової камери є важли-
вим чинником в забезпеченні тепловідводу від
злитка. Інтенсивність конвективного тепловідводу
від кристала, що росте, залежить від двох параме-
трів: коефіцієнта тепловіддачі на границі кристал-
газ та коефіцієнта теплопровідності газу, який
складає атмосферу ростової камери. Для інтен-
сифікації тепловідводу від кристала потрібно мак-
симізувати обидва ці параметри.

Кристали галогенідів лужних металів, зокрема
МК на основі йодиду натрію та йодиду цезію ха-
рактеризуються порівняно невеликим значенням
коефіцієнта теплопровідності ($\lambda \sim 1 \text{ Вт м}^{-1} \text{ К}^{-1}$) та
рекордно високою прозорістю у інфрачервоній
області спектру. Ці фактори обумовлюють певні
технологічні труднощі отримання великогабарит-

них монокристалічних злитків, які пов'язані з не-
сприятливими умовами теплообміну в кристалі,
що росте.

Відомий спосіб вирощування монокристалів на
основі йодиду натрію і цезію [заявка РФ №
2006111068, C30B 11/00], що включає витягування
кристала з розплаву в атмосфері або насичених
парів компонент вирощуваного кристала, або в
атмосфері інертного газу аргону при надлишковому
тиску 0,2-0,5 атм.

Недоліком способу є неможливість забезпе-
чення потрібної інтенсивності тепловідводу від
зовнішніх поверхонь кристала, що росте, внаслідок
відносно невеликого коефіцієнта теплопровідності
аргону. В такій ситуації відведення теплоти
кристалізації від границі кристал-розплав усклад-
нено. Тому вирощування великогабаритних МК
високої якості здійснюють при вповільненні швид-
кості витягування до 2 мм/год. Збільшення швид-
кості кристалізації у такий спосіб неможливо вна-
слідок того, що форма границі розділу фаз стає

(13) C2

(11) 93840

(19) UA

увігнутою у бік кристала. При цьому на фронті кристалізації утворюються кільцеподібні порожнини та відбувається відрив кристала від розплаву. Експериментально встановлено, що чим більші габарити кристала, тим менша припустима швидкість їх витягування. В цьому випадку зовнішні поверхні кристала майже вільні від конденсату, тобто коефіцієнт тепловіддачі на границі кристал-газ достатньо великий. Основна причина погіршення тепловідводу від кристала, який вирощується за цим способом, полягає в невеликому значенні коефіцієнта теплопровідності газоподібного аргону. Такий спосіб є ефективним при вирощуванні кристалів невеликих габаритів.

Відомі способи вирощування монокристалів кремнію [пат. України № 70313, СЗОВ 15/02; пат. РФ № 2200775, СЗОВ15/00; пат. РФ № 2231582, СЗОВ 15/14; заявка Японії № 2-31040, СЗОВ 15/14] з розплаву, що включають формування газового потоку над розплавом у присутності екрана різної складної конструкції, що розташований над площиною розплаву співвісно вирощуваному МК кремнію.

За рахунок примусової конвекції підвищується ефективний коефіцієнт теплопровідності газу та зберігається великий коефіцієнт тепловіддачі на границі кристал-газ внаслідок відсутності конденсату.

Зазначимо, що використання цих способів вирощування МК є доцільним лише для отримання кристалів монокристалічного кремнію для потреб мікроелектроніки. Ці способи, головним чином, вирішують задачу видалення монооксиду кремнію із зони кристалізації, оскільки потрапляння монооксиду кремнію до монокристала радикально погіршує якість вирощених злитків. При цьому покращення умов кристалізації в зазначених рішеннях є, хоч і досить вагомим, але другорядним результатом.

Відомий спосіб вирощування монокристалів кремнію [пат. України № 34160, СЗОВ 15/00] з розплаву в середовищі інертного газу, що включає розрощування МК до заданого діаметра і вирощування циліндричної частини МК. При довжині циліндрової частини вирощуваного МК, що дорівнює діаметру МК, і до закінчення процесу вирощування МК проводять обдування МК вихідним потоком інертного газу - аргону в ділянці, розташованій на відстані 0,4-0,6 діаметра вирощуваного МК від фронту кристалізації, при цьому швидкість вирощування МК дорівнює $V=(10/\ln D) \cdot 9 \cdot 10^{-4} L$, де D - діаметр вирощуваного МК, мм, L - висота МК, мм.

До основних недоліків цих способів віднесемо потребу у занадто складному технологічному обладнанні (вакуумних агрегатів), яке повинно підтримувати постійність тиску в атмосфері ростової камери, та великі (декілька кубічних метрів на годину) витрати інертного газу.

З технологічної точки зору ці способи можуть бути ефективними при вирощуванні великогабаритних МК галогенідів лужних металів, але з економічних міркувань зазначені рішення не застосовуються при вирощуванні оптичних та скінтіляційних МК на основі йодиду цезію та йодиду натрію.

Відомий спосіб вирощування кристалів галій-скандій-гадолінійових гранатів [пат. РФ № 2321689, СЗОВ 15/04], який включає витягування з розплаву при тиску в камері 1,4 атм. в середовищі газової суміші аргону та вуглекислого газу з об'ємною часткою останнього 14-17 %.

Застосування цього рішення до вирощування МК на основі йодиду натрію і йодиду цезію неодмінно призведе до зміни хімічного складу кристала, що вирощується. Це пов'язано з тим, що вуглекислий газ розчиняється у розплаві та хімічно взаємодіє з ним. Внаслідок цього в розплаві утворюються карбонат-іони, які входять до кристала. Наявність карбонат-іонів в скінтіляційних кристалах галогенідів лужних металів в окремих випадках призводить до різкого погіршення їх функціональних властивостей. Це обумовлено тим, що ці іони утворюють в кристалі центри свічення з часом згасання люмінесценції 1,6 мкс. Так, наявність карбонат-іонів в кристалах неактивованого йодиду цезію перетворює його з "швидкого" скінтілятора з часом згасання люмінесценції 16 нс на "повільний", тобто повністю псує його скінтіляційні характеристики.

Відомий спосіб вирощування МК йодиду цезію, активованого натрієм [М.М. Tymoshenko, V.I. Goriletsky, V.V. Vasiliev et al. Effect of growth atmosphere composition on heat and mass transfer continuous growth of scintillation crystal from melt. // Functional Materials, V.15, № 3 (2008)], що включає вирощування з розплаву в середовищі або аргону, або гелію, або їх суміші при співвідношенні парціальних тисків цих газів 1:2,5, а тиск встановлюють менший за атмосферний.

При вирощуванні МК висотою до 60 мм та діаметром 300 мм зі швидкістю 2 мм/год за цим способом найкращий тепловідвід спостерігається в атмосфері чистого аргону. Це, в першу чергу, обумовлено мінімальною кількістю конденсату на верхньому торці злитка.

Найгірший тепловідвід від кристала спостерігається при його вирощуванні в атмосфері гелію, що обумовлено інтенсивним конденсатоутворенням на поверхні злитку, що росте.

При вирощуванні в атмосфері суміші аргону та гелію інтенсивність тепловідводу, кількість конденсату та інші технологічні параметри приймають проміжне значення.

Авторами не наведено дані про вирощування кристалів висотою більше ніж 60 мм (тобто висотою більшою за 0,5 діаметра). Але наші дані свідчать про те, що оптимізація співвідношення компонентів забезпечує умови, за яких вдається підвищити коефіцієнт теплопровідності суміші газів на тлі порівняно повільного процесу конденсатоутворення, тобто при задовільному погіршенні коефіцієнту тепловіддачі на границі кристал-газ. Недоліком цього способу є те, що навіть при оптимальному співвідношенні аргону та гелію можливість підвищення швидкості кристалізації надто обмежена.

Відомий спосіб одержання лужногалогенідних МК [а.с. СРСР № 1431392 СЗОВ 11/02, 29/12], що включає завантаження вихідної сировини в тигель, його нагрівання у вакуумі в герметичній камері до

заданої температури, заповнення камери інертним газом - гелієм до тиску 1-2 атм, розплавлення сировини й наступне вирощування кристала. При цьому перед вирощуванням тиск знижують до 0,01-0,2 атм.

Коефіцієнт теплопровідності гелію майже у 10 разів вищий за коефіцієнт теплопровідності аргону. Використання високотеплопровідної гелієвої атмосфери, на перший погляд, дозволяє суттєво підвищити інтенсивність тепловідводу від зовнішніх поверхонь кристала. Проте висока теплопровідність гелію спричиняє переохолодження зовнішніх поверхонь кристала, вільної поверхні розплаву, та відкритих ділянок тигля (що контактують з газом). Це суттєво ускладнює технологічний процес вирощування великогабаритних МК.

По-перше, переохолодження зовнішніх поверхонь кристала призводить до інтенсивної конденсації парів розплаву на МК. Це є несприятливим технологічним чинником, особливо на ранніх стадіях вирощування, оскільки утворення товстого шару конденсату основної речовини на верхній поверхні кристала унеможливує забезпечення потрібної інтенсивності тепловідводу внаслідок низького коефіцієнту тепловіддачі на границі кристал-газ. Швидкість вирощування за нашими даними не перевищує 4 мм/год для кристалів йодиду цезію та йодиду натрію активованих талієм, та 2 мм/год для кристалів неактивованого йодиду цезію.

По-друге, внаслідок переохолодження відкритих ділянок тигля на них також утворюється товстий (до 10 мм) шар конденсату. Внаслідок вібрацій, що виникають при роботі ростової установки, частини конденсату можуть відділятися від поверхні тигля та потрапляти до розплаву. Далі ці частинки конденсату гідродинамічними потоками розплаву переносяться до фронту кристалізації де і залишаються. При цьому з місця прикріплення частинки конденсату починає рости полікристал, який характеризується високим коефіцієнтом розсіювання світла та незадовільними механічними властивостями. Очевидно, що виготовлення високоякісних оптичних елементів та скінтіляційних детекторів з такого злитку неможливо.

По-третє, переохолодження вільної поверхні розплаву створює умови за яких збільшується ймовірність виникнення центрів паразитної кристалізації у вигляді плоских кристалічних утворень розміром до 5-10 мм, що вільно рухаються по поверхні розплаву. Вони, як свідчить досвід, з неминучістю прилипають до кристала, що росте. Обертаючись разом з кристалом ці паразитні кристалічні утворення деформують електроконтактний датчик рівня розплаву. В такій ситуації повністю порушується робота системи автоматизованого керування діаметром кристала, що робить неможливим подальше вирощування злитку.

В основу даного винаходу поставлене завдання розробки способу вирощування МК на основі йодиду натрію і йодиду цезію, який забезпечив би підвищення швидкості кристалізації та якості вирощених кристалів за рахунок інтенсифікації процесу конвективного тепловідводу від кристала.

Як прототип нами обрано останній з аналогів.

Вирішення задачі забезпечується тим, що в способі вирощування монокристалів з розплаву на основі йодиду натрію та йодиду цезію в герметичній камері, що включає завантаження вихідної сировини в тигель, його нагрів у вакуумі до заданої температури, заповнення камери інертним газом, розплавлення сировини та подальше вирощування монокристалів при тиску інертного газу 0,01-0,2 атм., згідно винаходу, після стадії радіального розрощування та досягнення висоти кристала, що дорівнює $0,5 D$, де D - діаметр кристала, поступово, протягом 2-4 годин, змінюють склад атмосфери в об'ємі камери шляхом введення 10-20 об. % гелію, при збереженні вихідного тиску газової атмосфери в ростовій камері.

Як показали експериментальні дослідження, співвідношення між тепловими потоками, що перетинають верхню та бічну поверхні кристала змінюється в процесі вирощування. На початкових стадіях процесу вирощування, коли висота злитку менша за 0,5 його діаметра, основна частина теплового потоку від фронту кристалізації прямує крізь верхню поверхню злитка. На цьому етапі вкрай важливо мінімізувати конденсацію, оскільки шар конденсату на верхній поверхні характеризується високим тепловим опором (знижує коефіцієнт тепловіддачі) та перешкоджає відведенню теплоти від фронту кристалізації. При цьому потік тепла через нижню частину бокової поверхні кристала є відносно невеликим. Це обумовлено тим, що нижня частина кристала знаходиться у безпосередній близькості від розплаву та нагрітих ділянок тигля. Саме з цієї причини тепловий потік через бічну поверхню кристала на цьому етапі виявляється значно меншим за тепловий потік крізь верхню поверхню злитка.

Коли висота кристала стає більшою за 0,5 його діаметра, тепловідвід здійснюється, головним чином, через бічну поверхню кристала. При цьому наявність шару конденсату на верхній поверхні монокристалічного злитку майже не впливає на інтенсивність конвективного тепловідводу. В той самий час, як відомо з багаторічного досвіду вирощування великогабаритних скінтіляційних та оптичних МК, утворення шару конденсату на бічній поверхні вкрай незначне.

Експериментально встановлено, що введення гелію до атмосфери ростової камери у кількості меншій за 10 об. % недостатньо збільшує інтенсивність тепловідводу від кристала. Введення більше ніж 20 об. % гелію занадто збільшує тепловідвід від вільної поверхні розплаву та відкритих ділянок тигля. Це може призвести до виникнення центрів паразитної кристалізації як на поверхні розплаву, так і на стінках тигля.

Експериментальні дослідження щодо швидкості введення гелію показали наступне. Якщо введення гелію триває менше 2 годин, то автоматизована система керування діаметром кристала не встигає компенсувати збільшення тепловідводу від кристала шляхом відповідної корекції температури керуючого нагрівача. При цьому діаметр кристала відхиляється від заданого. При введенні гелію більше 4 годин виникають певні складнощі. По-

перше, це вимагає відповідного зменшення швидкості подачі гелію до атмосфери ростової камери, що в свою чергу уповільнює час досягнення оптимального складу атмосфери (збільшується технологічний час). По-друге, зменшення швидкості зміни складу атмосфери призводить до недостатньої інтенсивності тепловідводу від кристала, що може проявитися у вигляді погіршення теплової стабільності росту, зміни форми фронту кристалізації та ін.

Сталість заданого вихідного тиску газової атмосфери в об'ємі ростової камери (умова ізобаричності) в процесі вирощування МК є необхідною, оскільки мінімізує ймовірність появи газонаповнених порожнин у вирощеному злитку.

Таким чином у способі, що заявляється, на початкових етапах вирощування злитку, коли його висота менша за 0,5 діаметра заповнення ростової камери аргонем дає можливість попередити утворення товстого шару конденсату на верхній поверхні злитку та забезпечити потрібну інтенсивність конвективного тепловідводу. При збільшенні висоти кристала до атмосфери ростової камери додається гелій, що дозволяє підвищити інтенсивність конвективного тепловідводу від кристала. При цьому вдається досягти ефективного відведення теплоти кристалізації від кристала, а, значить, і збільшити швидкість витягування кристала та підвищити теплову стабільність процесу вирощування. Крім того в умовах ефективного тепловідводу границя розділу фаз помірно вигнута у бік розплаву, що унеможливіє відрив кристала від розплаву, запобігає утворенню структурних дефектів в об'ємі кристала у вигляді газонаповнених порожнин, тощо.

Тиск газової атмосфери на всіх стадіях процесу вирощування повинен бути в межах 0,01-0,2 атм. Збільшення тиску понад 0,2 атм, може призвести до утворення у вирощеному МК газонаповнених порожнин. Причиною цього є відносно велика розчинність газів (зокрема інертних) у розплавах йодиду натрію та йодиду цезію. При підвищеному тиску газу над розплавом, а значить і при великій концентрації розчиненого у розплаві газу, він вивільняється на границі розділу кристал-розплав у вигляді пузирів, які захоплюються кристалом, що росте. Отримані у такий спосіб злитки містять в своєму об'ємі різні за розміром газонаповнені порожнини. Сцинтиляційні детектори, що виготовлені з таких злитків, характеризуються поганими спектрометричними характеристиками (світловим виходом та енергетичним розділенням) внаслідок низької прозорості кристала до світла сцинтиляцій.

При тиску меншим за 0,01 атм внаслідок інтенсивного випару розплаву та його осадження на зовнішніх поверхнях кристала, зменшується інтенсивність тепловідводу від злитка, що росте.

В таблиці наведено характерні особливості МК, що вирощуються при різних значеннях параметрів, що заявляються, а також дані по прототипу.

Приклад 1

При вирощуванні МК неактивованого йодиду цезію способом, що пропонується, реалізують на ростових установках типу "КРИСТАЛ" таким чином.

У платиновий живильник пристрою завантажують 110 кг попередньо збезводненого йодиду цезію кваліфікації осч. Ростову камеру вакуумують та проводять додаткову сушку сировини протягом 3 годин. Для цього встановлюють температуру на всіх нагрівачах 250 °С. Після додаткової сушки сировини наповнюють об'єм ростової камери аргонем до тиску 0,1 атм. та розплавляють сировину у тиглі та живильнику при температурі 700 °С. Далі виконують затравлення та здійснюють ріст кристала у радіальному напрямку до досягнення діаметра 240 мм, після чого приступають до вирощування циліндричної частини кристала зі швидкістю 3 мм/год. По досягненні кристалом висоти 120 мм (що дорівнює 0,5 діаметра) до ростової камери повільно, протягом 2-х годин додають гелій в кількості 15 об. %, продовжуючи вирощування кристала з постійною швидкістю до заданої висоти 450 мм, при збереженні початкового тиску газової атмосфери в ростовій камері. Отриманий у такий спосіб монокристалічний злиток характеризується високим рівнем структурної досконалості на макрорівні, має рівну бічну поверхню, не містить газонаповнених пузирів та порожнин по об'єму кристала.

Приклад 2

При вирощуванні МК йодиду цезію активованого талієм способом, що пропонується, реалізують аналогічно прикладу 1 за винятком того, що у платиновий живильник пристрою окрім 110 кг попередньо збезводненого йодиду цезію кваліфікації осч завантажують 0,9 кг йодиду талію кваліфікації осч, а вирощування циліндричної частини кристала здійснюють зі швидкістю 5 мм/год. Отриманий у такий спосіб монокристалічний злиток характеризується високим рівнем структурної досконалості на макрорівні, має рівну бічну поверхню, рівномірний розподіл концентрації активатора по об'єму циліндричної частини кристала, в об'ємі кристала відсутні області з підвищеним розсіюванням світла, а також не містяться газонаповнені пузири та порожнини.

Приклад 3

При вирощуванні МК йодиду цезію активованого натрієм способом, що пропонується, реалізують аналогічно прикладу 1 за винятком того, що у платиновий живильник пристрою окрім 110 кг попередньо збезводненого йодиду цезію кваліфікації осч завантажують 5,5 г йодиду натрію кваліфікації осч, а вирощування циліндричної частини кристала здійснюють зі швидкістю 4 мм/год. Отриманий у такий спосіб монокристалічний злиток характеризується високим рівнем структурної досконалості на макрорівні, має рівну бічну поверхню, рівномірний розподіл концентрації активатора по всьому об'єму, вільний від областей з підвищеним розсіюванням світла, не містить газонаповнених пузирів та порожнин.

Приклад 4

При вирощуванні МК йодиду натрію активованого талієм способом, що пропонується, реалізують таким чином.

У платиновий живильник пристрою завантажують 89 кг попередньо збезводненого йодиду натрію кваліфікації осч та 0,63 кг йодиду талію кваліфікації осч. Ростову камеру вакуумують та проводять додаткову сушку сировини протягом 5 годин. Для цього встановлюють температуру на всіх нагрівачах 250 °С. Після додаткової сушки сировини наповнюють об'єм ростової камери аргоном до тиску 0,1 атм. та розплавляють сировину у тиглі та живильнику при температурі 730 °С. Далі виконують затравлення та розрощують кристал у радіальному напрямку до досягнення діаметра 300 мм, після чого приступають до вирощування цилін-

дричної частини кристала зі швидкістю 5 мм/год. По досягненні кристалом висоти 150 мм (що дорівнює 0,5 діаметра) до ростової камери повільно, протягом 3-х годин додають гелій в кількості 20 об. %, продовжуючи вирощування кристала з постійною швидкістю до заданої висоти 350 мм, при збереженні початкового тиску газової атмосфери в ростовій камері. Отриманий у такий спосіб монокристалічний злиток характеризується високим рівнем структурної досконалості на макрорівні, має рівну бічну поверхню, рівномірний розподіл концентрації активатора по об'єму циліндричної частини кристала, вільний від областей з підвищеним розсіюванням світла, не містить газонаповнених порожнин та порожнин.

Як видно з таблиці рішення задачі забезпечується лише в межах параметрів, що заявляються.

Таблиця

Склад кристала	Вміст гелію в атмосфері, об.	Час напуску гелію, год	Примітка
1	2	3	4
Неактивований йодид цезію (CsI)	5	2	Тепловідвід від кристала збільшується недостатньо. Швидкість витягування кристала не перевищує 2 мм/год. Можливо утворення газонаповнених порожнин у кристалі та відрив кристала від розплаву.
	10	1	Система автоматизованого керування не встигає підтримувати заданий діаметр кристала внаслідок швидкої зміни теплових умов.
	10	2	Кристал росте з постійним діаметром зі швидкістю 3 мм/год. В об'ємі кристала відсутні порожнини, макродефекти та області з підвищеним розсіюванням світла.
	20	4	
	30	4	Внаслідок виникнення центрів паразитної кристалізації можливо утворення полікристалічних областей та порушення роботи системи керування діаметром кристала, що росте.
	20	5	Погіршується теплова стабільність росту. Можливо утворення газонаповнених порожнин у кристалі.
Йодид цезію активований талієм, йодид натрію активований талієм (CsI:TI, NaI:TI)	5	2	Тепловідвід від кристала збільшується недостатньо. Швидкість витягування кристала не перевищує 4 мм/год. Можливо утворення газонаповнених порожнин у кристалі.
	10	1	Система автоматизованого керування не встигає підтримувати заданий діаметр кристала внаслідок швидкої зміни теплових умов. Розподіл активатора може бути нерівномірним.
	10	2	Кристал росте з постійним діаметром зі швидкістю 5 мм/год. В об'ємі кристала відсутні макродефекти та області з підвищеним розсіюванням світла. Розподіл активатора по об'єму монокристала рівномірний.
	20	4	
	30	4	Внаслідок виникнення центрів паразитної кристалізації можливо утворення полікристалічних областей та порушення роботи системи керування діаметром кристала, що росте.
	20	5	Погіршується теплова стабільність росту. Можливо утворення газонаповнених порожнин та областей з підвищеним розсіюванням світла у кристалі а також нерівномірний розподіл активатора.

Продовження таблиці

Йодид цезію активований натрієм (CsI:Na)	5	2	Тепловідвід від кристала збільшується недостатньо. Швидкість витягування кристала не перевищує 3 мм/год. Можливо утворення газонаповнених порожнин у кристалі та відрив кристала від розплаву.
	10	1	Система автоматизованого керування не встигає підтримувати заданий діаметр кристала внаслідок швидкої зміни теплових умов. Утворюються області підвищеного розсіювання.
	10	2	Кристал росте з постійним діаметром зі швидкістю 4 мм/год. В об'ємі кристала відсутні макродефекти та області з підвищеним розсіюванням світла. Розподіл активатора по об'єму монокристала рівномірний.
	20	4	
	30	4	Внаслідок виникнення центрів паразитної кристалізації можливо утворення полікристалічних областей та порушення роботи системи керування діаметром кристала, що росте.
	20	5	Погіршується теплова стабільність росту. Можливо утворення газонаповнених порожнин та областей з підвищеним розсіюванням світла у кристалі та нерівномірний розподіл активатора.
Прототип	100	-	Швидкість витягування кристалів не перевищує 2 мм/год для CsI, 3 мм/год для CsI:Na та 4 мм/год для CsI:TI та NaI:TI. Кристали можуть містити полікристалічні ділянки, розподіл активатора може бути нерівномірним. Внаслідок переохолодження вільної поверхні розплаву та тигля виникають центри паразитної кристалізації, що може призвести до нерівномірного розподілу активатора, утворення полікристалічних областей та порушення роботи системи керування діаметром кристала, що росте, тощо.