



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 46475

(13) A

(51) 6 C30B15/20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ РОСТУ МОНОКРИСТАЛІВ

1

2

(21) 2001075253

(22) 23 07 2001

(24) 15 05 2002

(46) 15 05 2002, Бюл. № 5, 2002 р.

(72) Герасимчук Лариса Іванівна, Горілецький Валентин Іванович, Єпіфанов Юрій Михайлович, Звягінцев Володимир Миколайович, Артеменко Максим Петрович, Суздаль Віктор Семенович, Тавровський Ігор Ігоревич

(73) НАУКОВО-ДОСЛІДНЕ ВІДДІЛЕННЯ ЛУЖНО-ГАЛОЇДНИХ КРИСТАЛІВ З ДОСЛІДНИМ ВИРОБНИЦТВОМ НТК "ІНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛІВ" НАН УКРАЇНИ

(57) Пристрій для регулювання росту монокристалів, що містить у собі електропривід кристалотримача, датчик рівня розплаву, з'єднаний з корегувальним регулятором та блоком керування підживлення, який з'єднано з живильником і блоком задання часових інтервалів через блок порівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, підключений до корегувального регулятора, обчислювальний блок, входи якого зв'язані з датчиком переміщення кристалотримача, датчиком рівня розплаву та блоком задання часових інтервалів, а виходи підключені до електроприводу кристалотримача, блока порівняння часових інтервалів, блока керування підживлення і корегувального регулятора, вихід якого підключений до донного нагрівача, блок задання швидкості зміни рівня розплаву і блок визначення

фактичної швидкості зміни рівня розплаву, котрі виходами підключені до схеми порівняння вказаних величин, а входами з'єднані з третім виходом блока задання часових інтервалів, четвертий вихід якого з'єднано з третім входом схеми порівняння заданої та фактичної швидкості зміни рівня розплаву, а четвертий вихід датчика рівня розплаву підключено до другого входу блока визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, блок корекції температури бічного нагрівача, зв'язаний з останнім, який відрізняється тим, що в нього додатково введені блок логіки, блок визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, логічні елементи "НІ" та "2І-АБО-НІ", окрім того вхід блока логіки підключений до виходу блока визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, а вихід з'єднано з першим входом блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, входом логічного елемента "НІ" та другим входом елемента "2І-АБО-НІ", перший вхід якого і другий вхід блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування з'єднані з виходом блока порівняння заданої та фактичної швидкості зміни рівня розплаву, при цьому третій вхід логічного елемента "2І-АБО-НІ" з'єднаний з виходом елемента "НІ", четвертий вхід - з виходом блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, а вихід логічного елемента "2І-АБО-НІ" з'єднано з блоком корекції температури бічного нагрівача

Винахід відноситься до області вирощування монокристалів і може мати застосування у виробництві великогабаритних лужногалоїдних монокристалів, наприклад, скінтіляційних

Відомим є пристрій для регулювання росту монокристалів (пат. Японії № 6015435, С30В 15/20), що містить у собі імпульсний електродвигун, з'єднаний через редуктор із механізмом переміщення тримача затравки, схему генерації імпульсів, що виробляє послідовність імпульсів керування схемою збудження, блоки задання й порівняння часових інтервалів, операційну схему керування, блок корекції температури нагрівача

Недоліком відомого винаходу є те, що здійснюється корекція тільки швидкості витягування монокристалу. Діаметр монокристалу й рівень розплаву не контролюється

Зворотний зв'язок за швидкістю витягування, діаметром або рівню розплаву для зміни температури нагрівача відсутній. Ці недоліки не дозволяють забезпечити точне підтримування діаметру, а отже, і необхідну якість вирощуваних монокристалів

Відомим є пристрій для регулювання діаметру вирощуваного кристала (пат. Японії № 5071552, С30В 13/28), що містить у собі нагрівач з блоком

(13) A

(11) 46475

(19) UA

корекції температури (ПІ- або ПІД-регулятор), привід переміщення тримача кристала з регульованою швидкістю у відношенні до температури цього нагрівача, блок задання програми за діаметром вирощуваного монокристалу, вимірюваного телекамерою, і швидкістю переміщення тримача кристалу, другий регулятор інтегрально-інтегрального типу і суматор, що виробляє на виході в якості значень параметру регулювання лінійні суми вихідних сигналів блоку задання програми, а також першого і другого регуляторів. Недоліком вказаного винаходу є складність і недостатня точність системи керування при формуванні керуючих дій на нагрівач (наявність двох регуляторів ПІД- та ІІ-типу), а також залежність швидкості переміщення тримача кристалу й тигля по відношенню до потужності цього нагрівача. При щонайменшому порушенні цих співвідношень з'являються стрибкоподібні зміни рівня розплаву, виникають похибки у визначенні фокусної відстані між телевізійною камерою й розплавом. Це призводить до похибок у вимірюванні діаметру вирощуваного монокристалу, а отже, до збільшення коливань значення цього параметру регулювання.

Окрім того, рівень розплаву, що впливає на точність утримання кристалу, не контролюється.

Вирощування монокристалів великого діаметра (понад 300 мм) створює складну проблему щодо отримання його чіткого зображення, а відсутність підживлення не дозволяє вирощувати великогабаритні монокристали.

Відомим є пристрій для регулювання росту монокристалів (пат. України № 29080А, СЗОВ 15/20), що містить у собі електропривід кристалотримача, датчик рівня розплаву зв'язаний з коригувальним регулятором і блоком керування підживлення, який з'єднаний з підживлювачем і блоком задання часових інтервалів через блок порівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, підключений до коригувального регулятора, обчислювальний блок, входи якого зв'язані з датчиком переміщення кристалотримача, датчиком рівня розплаву й блоком задання часових інтервалів, а виходи підключені до кристалотримача, блока порівняння часових інтервалів, блока керування підживленням і коригувального регулятора, вихід якого підключений до донного нагрівача, блок задання швидкості зміни рівня розплаву і блок визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, які виходами підключені до схеми порівняння вказаних величин, а їх входи з'єднані з третім виходом блоку задання часових інтервалів, четвертий вихід якого з'єднаний з третім входом схеми порівняння заданої і фактичної швидкості зміни рівня розплаву, а четвертий вихід датчика рівня розплаву підключений до другого входу блока визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, блок корекції температури бічного нагрівача, зв'язаний з останнім, у відповідності до винаходу до його складу додатково введені блок логіки, блок визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, логічні елементи «НІ» та «2І-АБО-НІ», зокрема вхід блока логіки підключено до виходу блока визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, а вихід з'єднано з першим входом блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, входом логічного елемента «НІ» і другим входом елемента «2І-АБО-НІ», перший вхід якого і другий вхід блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування з'єднані з блоком порівняння заданої і фактичної швидкості зміни рівня розплаву, при цьому третій вхід логічного елемента «2І-АБО-НІ» з'єднано з виходом елемента «НІ», четвертий вхід - з виходом блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, а вихід логічного елемента «2І-АБО-НІ» з'єднано з блоком корекції температури бічного нагрівача.

В розглядуваному у цьому пристрої процесі вирощування монокристалу кожний цикл складається з двох стадій – власне ріст кристалу й підживлення розплаву, тривалість яких приблизно однакова. Тип стадії можна індексувати за допомогою індексу χ , що приймає два значення 0 або 1.

Недоліком вказаного пристрою є те, що дискретне переміщення («підстрибування») кристало-

тримача не дозволяє забезпечити необхідну якість вирощування монокристалів. При цьому коригувальних дій за температурою, здійснюваних на протязі циклу вирощування монокристалу у цьому пристрої недостатньо для зменшення відносних відхилень діаметра монокристалу, оскільки ці дії виконуються лише на стадії росту монокристалу (себто приблизно на половині циклу керування), а для стадії підживлення вони повністю відсутні.

Поданий пристрій обрано в якості прототипу.

В основу винаходу поставлена задача розробити пристрій для регулювання росту монокристалів, яке забезпечило б поліпшення якості монокристалів за рахунок підвищення точності утримання діаметра вирощуваного монокристалу шляхом збільшення керуючих дій у заданому циклі вирощування.

Вирішення задачі забезпечується тим, що в пристрої для регулювання росту монокристалів, що містить у собі електропривід кристалотримача, датчик рівня розплаву, зв'язаний з коригувальним регулятором та блоком керування підживлення, який з'єднаний з підживлювачем і блоком задання часових інтервалів через блок їх порівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, підключений до коригувального регулятора, обчислювальний блок, входи якого зв'язані з датчиком переміщення кристалотримача, датчиком рівня розплаву та блоком задання часових інтервалів, а виходи обчислювального блока підключені до електроприводу кристалотримача, блока порівняння часових інтервалів, до блока керування підживлення та коригувального регулятора, вихід якого підключений до донного нагрівача, блок задання швидкості зміни рівня розплаву та блок визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, окрім того, блоки заданої і фактичної швидкості зміни рівня розплаву виходами підключені до схеми порівняння вказаних величин, а їх входи з'єднані з третім виходом блока задання часових інтервалів, четвертий вихід якого з'єднаний з третім входом схеми порівняння заданої і фактичної швидкості зміни рівня розплаву, а четвертий вихід датчика рівня розплаву підключений до другого входу блока визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, блок корекції температури бічного нагрівача, зв'язаний з останнім, у відповідності до винаходу до його складу додатково введені блок логіки, блок визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, логічні елементи «НІ» та «2І-АБО-НІ», зокрема вхід блока логіки підключено до виходу блока визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, а вихід з'єднано з першим входом блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, входом логічного елемента «НІ» і другим входом елемента «2І-АБО-НІ», перший вхід якого і другий вхід блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування з'єднані з блоком порівняння заданої і фактичної швидкості зміни рівня розплаву, при цьому третій вхід логічного елемента «2І-АБО-НІ» з'єднано з виходом елемента «НІ», четвертий вхід - з виходом блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, а вихід логічного елемента «2І-АБО-НІ» з'єднано з блоком корекції температури бічного нагрівача.

Уведення блока логіки дозволяє за виміряними датчиком рівня розплаву поточними значеннями h_i рівня розплаву і похідними цих значень за часом h_i в блоці визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву визначати знак цієї операції та призначати вихідному сигналу блока логіки – індексу стадії циклу процесу вирощування – значення

$$\chi=1 \text{ для } h_i' \leq 0, \\ \chi=0 \text{ для } h_i' > 0$$

При цьому розрізняють власне процес росту монокристалу, котрий пов'язаний зі спаданням рівня розплаву ($h_i' = 0$), і процес підживлення розплаву, пов'язаний зі зростанням рівня розплаву ($h_i' > 0$). Результат цієї операції ідентифікації індексу стадії циклу вирощування монокристалів, що здійснюється у блоці логіки, дозволяє впродовж неперервного витягування монокристалу виключити в блоці задання часових інтервалів такі параметри Δt_1 – час дискретного витягування ("висмикування") монокристала, Δt_2 – період часу, на протязі якого дається корекція на зміну температури бокового нагрівача після дискретного витягування, тобто спрощення роботи блока 12 задання часових інтервалів

Окрім того, забезпечується формування корегувальних дій на процес вирощування впродовж загального циклу (Δt_0 – ріст монокристалу і підживлення розплаву). При цьому відносні відхилення діаметра вирощуваного монокристала, а отже, покращується його якість

Використання блока визначення прогнозного значення сигналу помилки керування дозволяє під час підживлення розплаву ($\chi=0$) за сигналами ε_m ($m=1,2, \dots, L$, де L – число вимірів на стадії підживлення циклу вирощування монокристалу) помилки схеми порівняння значень швидкостей зміни рівня h_m , накопиченими на протязі стадії росту ($\chi=1$) процесу вирощування монокристалу, прецизійно регулювати температуру бічного обігрівача, а отже, й температуру розплаву на межі поділу фаз на обох стадіях процесу вирощування монокристалу. При цьому, на відміну від прототипу, забезпечується можливість задання керуючих дій і на стадії підживлення розплаву, чого не було в прототипу, тобто збільшується загальна кількість керуючих дій, що забезпечує тим самим зменшення відносних змін діаметра монокристалу, а тому і підвищення якості вирощуваних монокристалів

Уведення логічних елементів «НІ» та «2І-АБО-НІ» дає змогу на ділянці підживлення розплаву (сигнал $\chi=1$ з блоку логіки та $\varepsilon_{\text{розр}}$ з блоку визначення прогнозного значення помилки керування) здійснювати проходження сигналу помилки на вхід регулятора температури бічного нагрівача з більшою кількістю керуючих дій, а таким чином і температуру розплаву на межі поділу фаз. У свою чергу, це призводить до зменшення відносних змін діаметра монокристалу, а отже, до поліпшення якості вирощуваних монокристалів

Сутність винаходу пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 наведено часову залежність фактичної зміни рівня розплаву на ділянках росту монокристалу і підживлення розплаву з результатами визначення прогнозних значень помилки керування

На фіг. 2 зображена структурна схема заявля-

ного пристрою для регулювання росту монокристалів

На фіг. 3 зображена діаграма зміни рівня розплаву в процесі вирощування монокристалу

Пристрій для регулювання росту монокристалів (фіг. 2) містить в собі ростову піч 1, донний 2а та бічний 2б нагрівачі, тигель 3, кільцеву порожнину 3а тигля 3, підживлювач 4 з транспортною трубою 5, блок 6 керування підживленням, датчик 7 рівня розплаву, датчик 8 переміщення кристалотримача 9, обчислювальний блок 10, корегувальний регулятор 11, блок 12 задання часових інтервалів, блок 13 порівняння часових інтервалів, блок 14 задання швидкості зміни рівня розплаву, блок 15 визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, схему 16 порівняння, блок 17 корекції температури бічного нагрівача, електропривід 18 кристалотримача 9, блок 21 логіки, блок 22 визначення прогнозного значення сигналу помилки керування, логічні елементи «НІ» 23 та «2І-АБО-НІ» 24

Окрім того, на фіг. 2 зображені вирощуваний монокристал 19 та затравка 20 укріплена в кристалотримачеві 9, з'єднаному з електроприводом 18

Датчик 7 рівня розплаву з'єднано за допомогою щупа з ростовою піччю 1. Перший і другий виходи датчика 7 рівня розплаву підключені до третіх входів, відповідно, обчислювального блоку 10 і корегувального регулятора 11, а третій та четвертий виходи – до першого входу блоку 6 керування підживленням, та другому входу блоку 15 визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву

Виходи датчика 8 переміщення кристалотримача 9 підключені до перших входів обчислювального блоку 10 та корегувального регулятора 11, другий вхід якого приєднано до першого виходу обчислювального блоку 10. Другі вхід і вихід обчислювального блоку 10 підключені, відповідно, до першого виходу блока 12 задання часових інтервалів та першого входу блоку 13 порівняння часових інтервалів

Другий вхід блоку 13 порівняння часових інтервалів підключено до виходу блоку 12 задання часових інтервалів, а перший та другий виходи, відповідно, до входу блока 12 задання часових інтервалів і до другого входу блоку 6 керування підживленням, до третього входу якого підключено четвертий вихід обчислювального блоку 10

Вихід блоку 6 керування підживленням з'єднано з підживлювачем 4

Третій вихід обчислювального блоку 10 з'єднано з електроприводом 18 кристалотримача 9, який зв'язано із входом датчика 8 переміщення кристалотримача 9

Вихід корегувального регулятора 11 з'єднано з донним нагрівачем 2а

Бічний нагрівач 2б підключено до виходу блока 17 корекції температури бічного нагрівача 2б. Входи схеми 16 порівняння з'єднані з виходами блоку 14 задання швидкості зміни рівня розплаву, блоку 15 визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву і блоку 12 задання часових інтервалів, третій вихід якого підключено до перших входів указаних блоків 14 та 15. На другий вхід

блоку 14 поступає сигнал задання швидкості зміни рівня розплаву

Вхід блоку 21 логіки з'єднано з виходом блоку 15 визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву

Вихід схеми 16 порівняння з'єднано з першим входом логічного елемента «2І-АБО-НІ», 24 та другим входом блоку 22 прогнозного значення сигналу помилки керування. Другий вхід логічного елемента «2І-АБО-НІ», третій його вхід через логічний елемент 23 «НІ», а також перший вхід блоку 22 визначення прогнозного значення сигналу помилки керування з'єднані з виходом блоку 21 логіки

Вихід блоку 22 визначення прогнозного значення сигналу помилки керування з'єднано з четвертим входом логічного елемента «2І-АБО-НІ», а його вихід з'єднано із входом блока 17 корекції температури бічного нагрівача 26

В конкретному прикладі реалізації пристрою датчик 7 рівня розплаву є стандартним вузлом, що застосовується в установках типу «РОСТ»

Логічні елементи 23, 24 виконані на мікросхемах серії 555

Блок 21 логіки виконано на мікросхемах серії 140

Блок 22 визначення прогнозного значення помилки керування побудовано на основі мікроконтролера фірми Amtel/

Потужності донного 2,а та бічного 26 нагрівачів дорівнюють, відповідно, 10кВт та 6кВт

Розміри ростової камери 1 $\varnothing 950 \times 1300$ мм

Заявляється пристрій для регулювання росту монокристалів, який працює наступним чином

Для вирощування у даному пристрої монокристалів цезію йодистого, активованого натрієм, діаметру 320мм та висоти 600мм у ростову камеру 1 встановлюють тигель 3, в котрий завантажують первинну сировину. Далі вакуумують об'єм ростової камери 1 і сушать сировину при відкачуванні з нагріванням до 500°C упродовж 24 годин. Після цього підвищують температуру донного нагрівача 2,а до 850°C і бічного нагрівача 26 до 820°C і розтоплюють сировину в тиглі 3

Після розтоплення сировини в тиглі 3 затравку 20 торкаються до розплаву, підтоплюють її та підбирають рівноважну температуру донного нагрівача 2,а, при якій топлення затравки 20 припиняється (~750°C). Витримують затравку 20 у контакті з розплавом при цій температурі одну годину. Після цього шляхом зниження температури зі швидкістю до 2°C/рік радіально розрощують монокристал 19 до заданого діаметра 320мм на протязі 28 годин

Після досягнення заданого діаметра монокристалу 19 торкаються щупом датчика 7 рівня розплаву до поверхні розплаву

Після цього вмикають систему автоматизованого керування ростом монокристалу 19. При цьому у блоці 12 задання часових інтервалів задають наступні параметри (фіг. 1)

Δt_3 – час підживлення, у конкретному прикладі $\Delta t_3 = 8$ хв, Δt_4 – час росту монокристалу після підживлення, впродовж якого з частотою $1/\Delta t$ здійснюється вимірювання фактичної швидкості (v_f) зміни рівня розплаву, порівняння із заданою швидкістю (v_p) і дається корекція e_k із цієї ж частотою

на зміну температури бічного нагрівача 26 через блок 21 логіки, логічний елемент «2І-АБО-НІ» 21 та регулятор 17 температури бічного нагрівача, в конкретному прикладі $\Delta t_4 = 9$ хв,

Δt – інтервали часу вимірювання фактичної швидкості (v_f) зміни рівня h_1 розплаву у блоці 15 за сигналом від датчика 7 і цикл роботи блоку 21 логіки $\Delta t = 3$ хв, Δt_0 – загальний час циклу ($\Delta t_0 = \Delta t_3 + \Delta t_4$), котрий визначає середню швидкість росту монокристалу $v_{p1} = \Delta h_0 / \Delta t_0$ із використанням неперервності його витягування та наступного підживлення розплаву до висоти Δh_0 . У конкретному прикладі $v_{p1} = 4$ мм/рік, себто один цикл неперервного витягування монокристалу до висоти $\Delta h_0 = 1$ мм здійснюється через кожні 15 хв,

Δh_0 – різниця між значенням (h_1) рівня розплаву у процесі росту монокристала і після підживлення розплаву (h_3) у блоці 11 корегувального регулятора $\Delta h_0 \approx 1$ мм),

h_3 – рівень розплаву в тиглі після підживлення в блоці 6 керування підживленням,

Δh_k – величину переміщення кристалотримача 9 у датчику 8 переміщення кристалотримача 9, у конкретному прикладі $\Delta h_k = 1$ мм,

v_{p2} – величину середньої швидкості росту монокристалу за рахунок зниження рівня розплаву у блоці 14 задання швидкості зміни рівня розплаву

Датчик 7 рівня розплаву безперервно надає інформацію щодо рівня розплаву на третій вхід обчислювального блоку 10, перший вхід блоку 6 керування підживленням, третій вхід корегувального регулятора 11 та другий вхід блоку 15 визначення фактичної швидкості рівня розплаву

Після включення в роботу обчислювального блоку 10 та блоку 12 задання часових інтервалів, з першого виходу, котрого сигнали завдання поступають на другий вхід обчислювального блоку 10, починається відлік часу Δt_0 , після завершення якого із третього виходу обчислювального блоку 10 подається сигнал на електропривід 18 для неперервного переміщення кристалотримача 9 доверху на величину Δh_k за загальний час одного циклу Δt_0 та рівночасно з першого обчислювального блоку 10 на другий вхід корегувального регулятора 11 поступає сигнал для запам'ятовування дійсного значення рівня h_3 , вимірювана величина якого поступає з другого виходу датчика 7 рівня розплаву на третій вхід корегувального регулятора 11, себто значення рівня розплаву початку неперервного піднімання кристалотримача 9. Піднімання кристалотримача 9, а отже, й неперервне переміщення монокристалу 19 на величину $\Delta h = 1$ мм здійснюється вздовж ланцюжка: перший вихід датчика 8 переміщення – перший вхід обчислювального блоку 10 – третій вихід обчислювального блоку 10 – вхід електроприводу 18 кристалотримача 9. Рівночасно з другого виходу датчика 8 переміщення кристалотримача на перший вхід корегувального регулятора 11 поступає сигнал, що розрізняє порівняння різниці між тим, що зупинився у пам'яті рівнем розплаву до початку неперервного витягування (h_3) і дійсним рівнем розплаву після витягування до висоти (h_1), який поступив із другого виходу датчика 7 рівня розплаву на третій вхід корегувального регулятора 11, із сигналом задання (Δh_0) на четвертому вході корегувального регулятора 11

За результатами порівняння з виходу корегувального регулятора 11 видається сигнал на зміну температури донного нагрівача 2,а При $\Delta h = h_3 - h_1 < \Delta h_0$ температура донного нагрівача 2,а знижується, а при $\Delta h > \Delta h_0$ – підвищується

Після цього з першого виходу обчислювального блоку 10 на другий вхід корегувального регулятора 11 видається сигнал до припинення порівняння, а вздовж ланцюжка четвертий вихід обчислювального блоку 10 – третій вхід блоку 6 керування підживленням видається сигнал на живильник 4 і здійснюється підживлення розплаву первинною сировиною, яке з живильника 4 транспортною трубою 5 поступає кільцеву порожнину 3,а тигля 3, розтоплюється тут унаслідок зміни потужності бічного нагрівача 26 і далі стікає в тигель 3

Фактичний час підживлення може відрізнятися від його заданого значення Δt_3 . Тому із другого виходу обчислювального блоку 10 на перший вхід блоку 13 порівняння часових інтервалів поступає сигнал для порівняння часових інтервалів фактичних значень часу підживлення $t_{3ф}$ із заданими Δt_3

У випадку $\Delta t'_{ф} > \Delta t_3$ із другого виходу блоку 13 порівняння часових інтервалів на другий вхід блоку 6 керування підживленням поступає сигнал інтенсифікації підживлення, а з першого виходу вказаного блоку 13 на вхід блоку 12 задання часових інтервалів поступає сигнал корекції часу Δt_4 . При цьому з першого виходу блоку 12 задання часових інтервалів на другий вхід обчислювального блоку 10 поступає сигнал для збереження загального часу циклу Δt_0

Після досягнення заданого (на четвертий вхід блоку 6 керування підживленням) рівня h_3 розплаву в тиглі 3 із третього виходу датчика 7 рівня розплаву на перший вхід блоку 6 керування підживленням поступає сигнал до відключення підживлення

З моменту початку відліку часу Δt_0 на другий вхід блоку 15 визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву безперервно поступає інформація про положення рівня h_i розплаву на стадії росту монокристал з четвертого виходу датчика 7 рівня розплаву. Через інтервали часу Δt_i , які задаються в блоці 12 за-дання часових інтервалів, сигнали з його третього виходу поступають на перші входи блоку 14 задання швидкості зміни рівня розплаву та блоку 15 визначення фактичної швидкості зміни рівня розплаву, в якому і визначається фактична швидкість зміни рівня розплаву

$v'_{ф1} = \delta h_1 / \Delta t_1$, $v'_{ф2} = \delta h_2 / \Delta t_2$, ..., $v'_{фn} = \delta h_n / \Delta t_n$, де $\delta h_1 = h_{12} - h_{11}$, $\delta h_2 = h_{13} - h_{12}$, ..., $\delta h_n = h_{1(n+1)} - h_{1n}$ (фіг 1)

Результати вимірювання $\delta h / \Delta t$ поступають на блок 21 логіки, де формуються наступні значення

$\chi = 1$ при $\delta h / \Delta t \leq 0$ – на ділянці росту монокристала,

$\chi = 0$ при $\delta h / \Delta t > 0$ – на ділянці підживлення розплаву

Вимірювані значення $v_{фi}$ фактичної швидкості зміни рівня розплаву у блоці 15 порівнюються із заданою v_{p2} у блоці 14 за першим і другим входами схеми 16 порівняння. Через проміжки часу Δt_i , що задаються у блоці 12, і які поступають на третій вхід схеми 16 порівняння, із виходу блоку 14 поступають значення v_{p2i} , із виходу блоку 15 $v_{фi}$, а з

виходу блоку 16 сигнали помилки ϵ_i на перший вхід логічного елемента "2І-АБО-НІ" 24 і на другий вхід блоку 22 визначення прогнозного значення помилки керування. При цьому на другий вхід елемента 24 і на перший вхід блоку 22 визначення прогнозного значення помилки керування поступає сигнал χ . Якщо $\chi = 1$, тобто $\delta h / \Delta t \leq 0$ і процес знаходиться на ділянці росту монокристал, то через входи 1,2 елемента 24 сигнал помилки ϵ_m поступає на вхід корегувального регулятора 17, бічного нагрівача 26. За час росту монокристал ($\Delta t_4 = 9 \times v$) за умови, що цикл керування $\Delta t = 3 \times v$ на регулятор 17 поступає п'ять корегувальних дій (фіг 1). На ділянці підживлення, коли рівень розплаву починає підвищуватися, себто величина $\delta h / \Delta t$ стає додатною, а $\chi = 0$, на вхід 3 логічного елемента 24 через елемент 23 "НІ" поступає логічна "1". При цьому на вхід 4 логічного елемента "2І-АБО-НІ" 24 поступає прогнозне значення сигналу помилки $\epsilon_{рогр}$ через блок 22 визначення прогнозного значення сигналу помилки. Блок 22 здійснює визначення прогнозного $\epsilon_{рогр}$ на М тактів уперед відносно поточного значення $\hat{y}_n = \epsilon_i$ оцінки вхідного сигналу z_n , що лінійно змінюється, спотвореного перешкодами, за формулами (Коршунов Ю.М. "Математические основы кибернетики" – М. Энергоатомиздат, 1987, залежності (10 113) – (10 115), С. 430)

Результати визначення прогнозних значень за $L=5$ поточними вимірюваними значеннями рівня розплаву наведені на фіг 1. Діаграму роботи процесу вирощування наведено на фіг 3

З виходу елемента 24 на вхід регулятора 17 поступає сигнал помилки B_k . За час підживлення ($\Delta t_3 = 6 \times v$) забезпечуються три корегувальних дії, яких у пристрої-прототипові не було, тобто 40% часу загального циклу Δt_0 система керування ростом не забезпечувала корегувальних дій на об'єкт керування

Корегувальна дія по температурі на стадії росту тільки на донний нагрівач 2а (як у прототипу) при досягненні рівня розплаву h_1 складає, зазвичай, $\pm((1-1,5)^\circ\text{C})$ і є досить грубою для плаву h_1 складає, зазвичай, $\pm((1-1,5)^\circ\text{C})$ і є досить грубою для об'єкта регулювання

Додаткова корегувальна дія на бічний нагрівач 26 дає змогу здійснити прецизійне керування температурою розплаву за зміною величин $\delta h_1 - \delta h_n$, та, відповідно, різниці між заданою v_{p2} і фактичною $v_{ф}$ швидкостями зміни рівня розплаву, як на ділянці росту монокристал, так і на ділянці підживлення розплаву

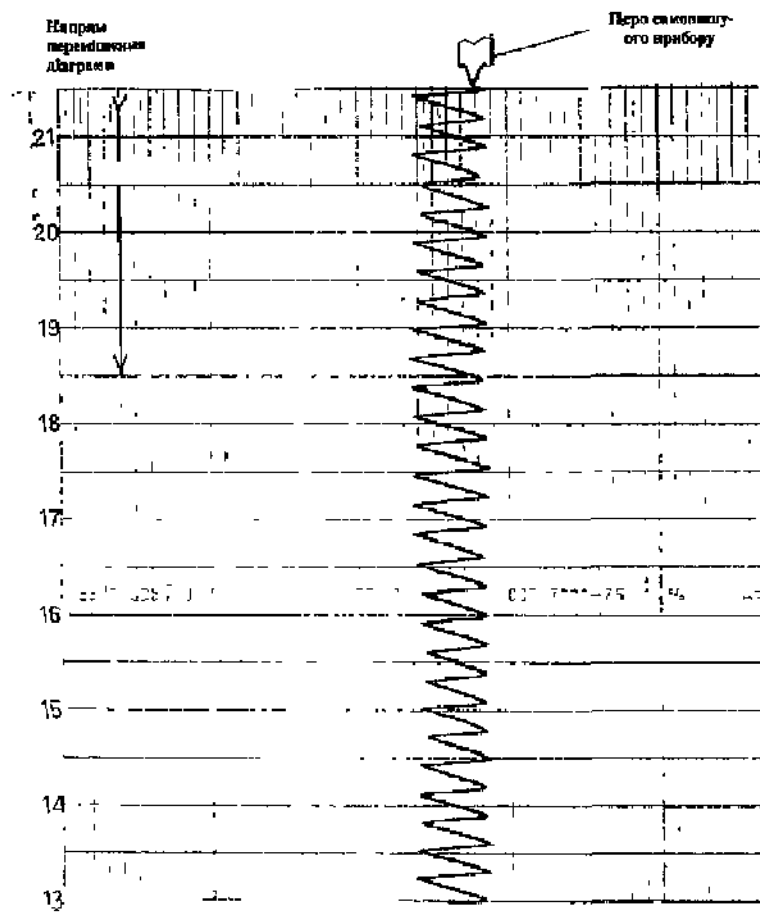
Таким чином спрощується робота блоку 12 задання часових інтервалів та пристрою регулювання росту монокристалу в цілому

Загальною умовою є те, що додаткова корекція температури бічного нагрівача 26 на відрізках часу Δt_i буде знаходитися в межах $\pm(0,2-0,4)^\circ\text{C}$

Отже, в запропонованому винаході відносна зміна діаметру монокристалів зменшується, що забезпечує підвищення їх, якості

За час Δt_4 величина $\delta h / \Delta t$ знову змінює знак при неперервному витягуванні кристалу й цикл повторюється

У таблиці наведені характеристики великогабаритних скінтіляційних монокристалів CsJ(Na) із розмірами були $\varnothing 320 \times 600 \text{ мм}$, вирощених із вико-



Фиг.3

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)
вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна
(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комтет»
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна
(044) 216 – 32 – 71