



УКРАЇНА

(19) UA (11) 43077 (13) A

(51) 7 C30B15/20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ РОСТУ МОНОКРИСТАЛІВ

(21) 2001020889

(22) 09.02.2001

(24) 15.11.2001

(33) UA

(46) 15.11.2001, Бюл. № 10, 2001 р.

(72) Суздаль Віктор Семенович, Горілецький Валентин Іванович, Герасимчук Лариса Іванівна, Єпіфанов Юрій Михайлович, Звягінцев Володимир Миколайович, Тавровський Ігор Ігорович, Стрельников Миколай Іванович

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

(57) Пристрій для регулювання росту монокристалів, який містить електропривід кристалотримача, датчик рівня розплаву, зв'язаний з коригуючим регулятором температури донного нагрівача та блоком управління підживлюванням, який з'єднано з підживлювачем та блоком задання часових інтервалів через блок їх зрівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, який підключено до коригуючого регулятора температури донного нагрівача, обчислювальний блок, входи якого зв'язано з датчиком рівня розплаву та блоком задання часових інтервалів, а виходи підключено до блока зрівняння часових інтервалів, до блока управління підживленням та до коригуючого регулятора температури донного нагрівача, вихід якого підключено до донного нагрівача, блок задання швидкості змінення рівня розплаву та блок визначення фак-

тичної швидкості змінення рівня розплаву, які виходами підключено до схеми зрівняння зазначених величин, а їх входи з'єднано з виходом блока задання часових інтервалів, вихід якого з'єднано з входом схеми зрівняння заданої та фактичної швидкості змінення рівня розплаву, вихід якої з'єднано з коригуючим регулятором температури бічного нагрівача, а вихід датчика рівня розплаву підключено до входу блока визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву, блок контролю величини дискретного переміщення кристалотримача, виходи якого підключено до датчика дискретного переміщення кристалотримача, до обчислювального блока та до електроприводу кристалотримача, а входи з'єднано з датчиком дискретного переміщення кристалотримача та обчислювальним блоком, який відрізняється тим, що в нього додатково введені два датчики потужності, два підсилювачі-суматори та два ПІД-контролери, при цьому перший датчик потужності з'єднано входом з донним нагрівачем, а виходом з інверсним входом першого підсилювача-суматора, прямий вхід якого з'єднано з коригуючим регулятором температури донного нагрівача, а вихід через перший ПІД-контролер підключено до донного нагрівача, другий датчик потужності входом з'єднано з бічним нагрівачем, а виходом з інверсним входом другого підсилювача-суматора, прямий вхід якого підключено до коригуючого регулятора температури бічного нагрівача, а вихід - через другий ПІД-контролер підключено до бічного нагрівача.

Винахід відноситься до області вирощування монокристалів і може знайти застосування у виробництві великогабаритних лужногалоїдних монокристалів, наприклад, сцинтиляційних.

Є відомим пристрій для регулювання діаметра вирощуваного монокристала (пат. Японії № 5071552, кл. C30B13/28), вміщуючий нагрівач з блоком корекції його температури (ПІ або ПІД регулятори), привод переміщення кристалотримача з регульованою швидкістю відносно до температури цього нагрівача, блок завдання програми по діаметру вирощуваного монокристала, який вимірюється телекамерою, та швидкості переміщення кристалотримача, другий регулятор інтегрально-інтегрального типу та суматор, який виробляє на

виході в якості значень параметра регулювання лінійні суми вихідних сигналів блока завдання програми, а також першого та другого регуляторів.

Недоліком зазначеного винаходу є надмірне ускладнення системи управління при формуванні управляючих впливів на нагрівач (наявність двох регуляторів ПІД та ІІ типу), а також залежність швидкості переміщення кристалотримача та тиглю відносно до потужності цього нагрівача. При найменших порушеннях цих співвідношень з'являються стрибкоподібні змінення рівня розплаву, виникають похибки при визначенні фокусної відстані між телевізійною камерою та розплавом. Це приводить до похибок у вимірюванні діаметра монокристала, який вирощується, а тобто, до зростання

(19) UA (11) 43077 (13) A

коливань заданого значення цього параметра регулювання.

Окрім того, вирощування монокристалів великого діаметра (більш 300 мм) робить складною проблему отримання його чіткого зображення, а відсутність підживлення не дозволяє вирощувати великогабаритні монокристали.

Є відомим також пристрій для регулювання росту монокристалів (пат. України № 29080А, кл. С30В15/20), який вміщує електропривод кристалотримача, датчик рівня розплаву, зв'язаний з коригуючим регулятором температури донного нагрівача та блоком управління підживленням, який з'єднано з підживлювачем та блоком задання часових інтервалів через блок їх зрівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, підключений до коригуючого регулятора температури донного нагрівача, обчислювальний блок, входи якого зв'язано з датчиком переміщення кристалотримача, датчиком рівня розплаву та блоком задання: часових інтервалів, а виходи підключено до електроприводу кристалотримача, блока зрівняння часових інтервалів, до блока управління підживленням і коригуючого регулятора температури, вихід якого підключено до донного нагрівача, блок задання швидкості змінення рівня розплаву та блок визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву виходами підключено до схеми зрівняння зазначених величин, а їх входи з'єднано з виходом блока задання часових інтервалів, вихід якого з'єднано з входом схеми зрівняння заданої та фактичної швидкості змінення рівня розплаву, вихід якої через коригуючий регулятор температури бічного нагрівача зв'язано з останнім, а вихід датчика рівня розплаву підключено до входу блока визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву.

Величина дискретного переміщення кристалотримача, залежна від інерційності електроприводу, точності механічних з'єднань вузлів переміщення кристалотримача в даному пристрої не контролюється. В результаті фактична величина дискретного переміщення кристалотримача відрізняється від заданої величини на одному з входів блока дискретного переміщення кристалотримача, що приводить до похибки визначення рівня розплаву після кожного підйому монокристала. Так як за результатами вимірювання величин рівня розплаву до та після підйому монокристала формується управляючий сигнал для коригуючого регулятора температури донного нагрівача, то похибка при вимірюванні температури донного нагрівача збільшується, що приводить до збільшення відносних змін діаметра монокристала, знижуючи якість вирощуваних монокристалів.

Найбільш близьким за технічною суттю та вибраним прототипом є пристрій для регулювання росту монокристалів (заява № 98063101 України, пр. 16.06.1998, кл. С30В15/20, ріш. про вид. пат. 21.12.1998.).

Пристрій вміщує електропривод кристалотримача, датчик рівня розплаву, зв'язаний з коригуючим регулятором температури донного нагрівача та блоком управління підживленням, який з'єднано з підживлювачем та блоком задання часових інтервалів через блок їх зрівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, підключений

до коригуючого регулятора температури донного нагрівача, обчислювальний блок, входи якого пов'язано з датчиком рівня розплаву та блоком задання часових інтервалів, а виходи підключено до блока зрівняння часових інтервалів, до блока управління підживленням та коригуючому регулятору температури, вихід якого підключено до донного нагрівача, блок задання швидкості змінення рівня розплаву та блок визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву, виходами підключено до схеми зрівняння зазначених величин, а їх входи з'єднано з третім виходом блока задання часових інтервалів, вихід якого з'єднано з входом схеми зрівняння заданої та фактичної швидкості змінення рівня розплаву, вихід якої з'єднано з коригуючим регулятором температури бічного нагрівача, а вихід датчика рівня розплаву підключено до входу блока визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву, блок контролю величини дискретного переміщення кристалотримача, виходи якого підключено до датчика дискретного переміщення кристалотримача, обчислювальному блоку та до електроприводу кристалотримача, а його входи з'єднано з датчиком дискретного переміщення кристалотримача та обчислювальним блоком.

Різні швидкозмінювані збурення, такі, наприклад, як нестабільність напруги електричної мережі, виявлятимуться на роботі існуючого пристрою при формуванні управляючих сигналів для коригуючих регуляторів, які призначені для прецизійного автоматичного регулювання відносно повільного змінення температури донного та бічного нагрівачів. Температура нагрівачів при дії збурень змінюватиметься стрибкоподібно, що приводить до збільшення відносних змін діаметра монокристала. При цьому якість вирощених монокристалів помітно знижується.

За основу винаходу поставлена задача розробити пристрій для регулювання росту монокристалів, який забезпечив би поліпшення їх якості завдяки підвищенню точності підтримання діаметра вирощуваного монокристала, а також підвищення надійності управління процесом вирощування.

Вирішення задачі забезпечується тим, що в пристрої для регулювання росту монокристалів, який вміщує електропривод кристалотримача, датчик рівня розплаву, зв'язаний з коригуючим регулятором температури донного нагрівача та блоком управління підживленням, який з'єднано з підживлювачем та блоком задання часових інтервалів через блок їх зрівняння, датчик дискретного переміщення кристалотримача, який підключено до коригуючого регулятора температури донного нагрівача, обчислювальний блок, входи якого зв'язано з датчиком рівня розплаву та блоком задання часових інтервалів, а виходи підключено до блока зрівняння часових інтервалів, до блока управління підживленням та до коригуючого регулятора температури донного нагрівача, вихід якого підключено до донного нагрівача, блок задання швидкості змінення рівня розплаву та блок визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву, які виходами підключено до схеми зрівняння зазначених величин, а їх входи з'єднано з виходом блока задання часових інтервалів, вихід якого з'єднано з входом схеми зрівняння заданої та фактичної

швидкості змінення рівня розплаву, вихід якої з'єднано з коригуючим регулятором температури бічного нагрівача, а вихід датчика рівня розплаву підключено до входу блока визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву, блок контролю величини дискретного переміщення кристалотримача, виходи якого підключено до датчика дискретного переміщення кристалотримача, до обчислювального блока та до електроприводу кристалотримача, а входи з'єднано з датчиком дискретного переміщення кристалотримача та обчислювальним блоком, згідно з винаходом, що в нього додатково введені два датчики потужності, два підсилювачі-суматори та два ПІД-контролера, при цьому перший датчик потужності з'єднано входом з донним нагрівачем, а виходом з інверсним входом першого підсилювача-суматора, прямий вхід якого з'єднано з коригуючим регулятором температури донного нагрівача, а вихід через перший ПІД-контролер підключено до донного нагрівача, другий датчик потужності входом з'єднано з бічним нагрівачем, а виходом з інверсним входом другого підсилювача-суматора, прямий вхід якого підключено до коригуючого регулятора температури бічного нагрівача, а вихід - через другий ПІД-контролер підключено до бічного нагрівача.

Введення датчиків потужності донного та бічного нагрівачів дозволяє контролювати збурення, які швидко змінюються за напругою живлення в контурах швидкого регулювання, які мають час циклу вимірювання на ступінь менший, ніж у відносно повільно діючих контурах корекції температури нагрівачів.

Введення підсилювачів-суматорів дозволяє здійснити оперативний вплив на режим роботи усієї системи при наявності збурень.

Введення ПІД-контролерів з функціями передачі (Техническое описание и инструкция по эксплуатации прибора регулирующего аналогового Р133, с. 23):

$$W_{1,2}(p) = \frac{X_{\text{вих}1,2}(p)}{X_{\text{вх}1,2}(p)} \frac{K_{\Pi 1,2}}{T_{\text{ДФ}1,2}p + 1} \left(1 + T_{\text{Д}1,2}p + \frac{1}{T_{\text{И}1,2}p} \right),$$

де $X_{\text{вих}1,2}(p)$, $X_{\text{вх}1,2}(p)$ - зображення по Лапласу відповідно до вихідного та вхідного сигналів модулів, відображених у долях від номінального діапазону їх змінення (p - оператор Лапласу); $T_{\text{ДФ}1,2}$ $T_{\text{И}1,2}$, $T_{\text{Д}1,2}$ - постійні часу, відповідно, демпфірування, інтегрування та диференціювання, відображені в секундах; $K_{\Pi 1,2}$ - коефіцієнт пропорційності, - дозволяє провести наладку кожного з взаємозв'язаних контурів регулювання параметрів донного та бічного нагрівачів з оптимальними для компенсації збуджень коефіцієнтами.

Таким чином, введення нових елементів з їх зв'язками дозволяє забезпечити компенсацію збурень у системі управління, такої, наприклад, як нестабільність напруги мережі живлення. Це приводить до підвищення точності підтримування діаметра монокристала, який вирощується та забезпечує поліпшення якості за рахунок високої точності стабілізації температурного режиму вирощування.

На кресленні (фіг.) приведено структурну схему пристрою, який пропонується, для регулювання росту монокристалів.

Пристрій для регулювання росту монокристалів вміщує ростову піч 1, донний 2 та бічний 3 на-

грівачі, тигель 4, кільцеву порожнину 5 тиглю 4, систему підживлення, яка вміщує підживлювач 6 з транспортною трубою 7, блок 8 управління підживленням, датчик 9 рівня розплаву, щуп 10, датчик 11 дискретного переміщення кристалотримача 12, обчислювальний блок 13, коригуючий регулятор 14 температури донного нагрівача 2, блок 15 задання часових інтервалів, блок 16 зрівнювання часових інтервалів, блок 17 задання швидкості змінення рівня розплаву, блок 18 визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву, схему 19 зрівнювання, коригуючий регулятор 20 температури бічного нагрівача 3, електропривод 21 кристалотримача 12, блок 22 контролю величини дискретного переміщення кристалотримача 12.

Окрім того, пристрій вміщує монокристал 23, який росте, та затравку 24, закріплену в кристалотримачі 12, який з'єднано з електроприводом 21.

Пристрій також вміщує два датчики 25, 26 потужності, два підсилювачі-суматори 27, 28 та два ПІД-контролера 29, 30.

Датчик 9 рівня розплаву зв'язано за допомогою щупа 10 з ростовою піччю 1. Перший та другий виходи датчика 9 рівня розплаву підключено до третіх входів, відповідно, обчислювального блока 13 та коригуючого регулятора 14, а третій і четвертий виходи - до першого входу блока 8 управління підживленням та другому входу блока 18 визначення фактичної швидкості змінення рівня розплаву.

Виходи датчика 11 переміщення кристалотримача 12 підключено до перших входів блока 22 контролю величини дискретного переміщення кристалотримача 12 та коригуючого регулятора 14, другий вхід якого приєднано до першого виходу обчислювального блока 13. Виходи блока 22, відповідно, підключено до другого входу датчика 11 дискретного переміщення кристалотримача 12 та до першого входу обчислювального блока 13.

Другі вхід та вихід обчислювального блока 13 підключено, відповідно, до першого виходу блока 15 задання часових інтервалів та першому входу блока 16 зрівнювання часових інтервалів. Третій вихід обчислювального блока 13 підключено до другого входу блока 22.

Другий вхід блока 16 зрівнювання часових інтервалів підключено до другого виходу блока 15 задання часових інтервалів, а перший та другий виходи блока 16, відповідно, до входу блока 15 задання часових інтервалів та другому входу блока 8 управління підживленням, до третього входу якого підключено четвертий вихід обчислювального блока 13.

Вихід блока 8 управління підживленням з'єднано через підживлювач 6 з транспортною трубою 7.

Кристалотримач 12 зв'язано з першим входом блока 11 дискретного переміщення кристалотримача 12.

Вхід коригуючого регулятора 20 температури бічного нагрівача 3 підключено до виходу схеми 19 зрівнювання, входи якої з'єднано з виходами блока 17 задання швидкості змінення рівня розплаву, блока 18 визначення швидкості змінення рівня розплаву та блока 15 задання часових інтервалів, третій вихід якого підключено до перших входів зазначених блоків 17 та 18.

Входи першого та другого датчиків 25, 26 потужності з'єднано з донним та бічним нагрівачами 2, 3, а їх виходи - з інверсними входами першого та другого підсилювачів-суматорів 27, 28. Прямі входи підсилювачів-суматорів 27, 28 з'єднано з коригуючими регуляторами 14, 20 температури донного та бічного нагрівачів 2, 3.

Виходи підсилювачів-суматорів 27, 28 через перший та другий ПІД-контролери 29, 30 підключено до донного та бічного нагрівачів 2, 3.

У конкретному прикладі реалізації пристрою датчик 9 рівня розплаву є стандартним вузлом, який застосовується на установках типу "Рост".

Датчик 11 переміщення кристалотримача являє собою перетворювач "кут-код", у якому використано кодуєчий диск з прорізами. Розрешаюча здатність датчика 11 становить 5° , що відповідає переміщенню кристалотримача 12 на ~ 15 мкм.

Блок 22 контролю величини дискретного переміщення кристалотримача 12 виконано на мікропроцесорі типу PIC 14000. У функції цього блока входить: завдання величини переміщення кристалотримача в мм, для датчика 11 - кількість прорізів кодуєчого диска; вмикання приводу 21 кристалотримача; контроль величини фактичного переміщення кристалотримача 12 за кількістю імпульсів, які поступають з датчика 11; формування сигналу похибки в обчислювальний блок 13 для управління коригуючим регулятором 14 температури донного нагрівача 2.

Датчики 25, 26 потужності виконано на елементах типу ТВБ (термоперетворювач вакуумний балонний).

Підсилювачі-суматори 27, 28 виконано на мікросхемах К-140.

ПІД-контролери 29, 30 побудовані на основі процесорів типу AT90S8535 з можливістю підключення дисплею та клавіатури для інтерфейсу з користувачем. За допомогою клавіатури та дисплею настроюються коефіцієнти K_{n1} , K_{n2} - пропорційності та постійних часу T_{i1} , T_{i2} - інтегрування, T_{d1} , T_{d2} - диференціювання, T_{df1} , T_{df2} - демпфірування кожного з контурів швидкого регулювання параметрів донного та бічного нагрівачів 2, 3.

У якості коригуючих регуляторів 14, 20 температури донного та бічного нагрівачів 2, 3 використано цифрові програмні регулятори (І.І. Тавровський, В.С. Суздаль, Ю.М. Епифанов, Н.І. Стрельников, Л.І. Герасимчук. Цифровой программный регулятор. - Вестник ХГПУ, вып. 80, Харьков, 2000 г. - с. 7).

Діаметр циліндричного тигля 4-400 мм, висота - 100 мм. Коаксіально верхній частині тигля 4 розташована кільцева порожнина 5, яка має з тиглем 4 спільну стінку з отворами (а.с. СРСР № 374902, кл. B01J17/18). Висота кільцевої порожнини 5-70 мм, внутрішній діаметр - 400 мм та зовнішній діаметр - 450 мм. Потужність донного 2 та бічного 3 нагрівачів відповідно складає 10 кВт та 6 кВт.

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

Зазначений пристрій працює таким чином.

Для вирощування в цьому пристрої монокристалів CsI(Na) діаметром 320 мм та висотою 600 мм

в ростову камеру 1 встановлюють тигель 4, у який завантажують підсушену сировину. Далі вакуумірують обсяг ростової камери 1 та сушать сировину при відкачці з нагрівом до 500°C за 24 години. Потім підвищують температуру донного нагрівача 2 до 850°C та бічного нагрівача 3 до 820°C і розплавляють сировину в тиглі 4.

Після розплавлювання сировини у тиглі 4 дотикають затравку 24 до розплаву, оплавляють її та підбирають рівноважну температуру донного нагрівача 2, при якій плавлення затравки 24 припиняється ($\sim 750^\circ\text{C}$). Витримують затравку 24 у контакті з розплавом при цій температурі за одну годину. Потім шляхом зниження температури зі швидкістю до $2^\circ\text{C}/\text{год}$ радіально розрошують монокристал 23 до заданого діаметра 320 мм за 28 годин.

По досягненні заданого діаметра монокристала дотикають щуп 10 датчика 9 рівня розплаву з поверхнею розплаву.

Потім вмикають систему управління ростом монокристала 23. При цьому система управляє підживленням розплаву через транспортну трубку 7, переміщенням кристалотримача 12, вимірюванням рівня розплаву за допомогою щупа 10 датчика 9 рівня, корекцією теплових режимів нагрівачів 2, 3 через коригуючі регулятори 14, 20 температури.

У момент корекції температур донного 2 та бічного 3 нагрівачів можливі різноманітні збурення, які швидко змінюються, у тому разі і нестабільності напруги живлення.

Ці збурення фіксуються малоінерційними датчиками 25, 26 потужності та подаються на інверсні входи підсилювачів-суматорів 27, 28. На прямі входи цих же елементів подаються вихідні сигнали коригуючих регуляторів 14, 20 температури. Різнісні сигнали підсилювачів-суматорів 27, 28 подаються на ПІД-контролери 29, 30. Коефіцієнтами K_{n1} , K_{n2} пропорційності та постійними часу T_{df1} , T_{df2} , T_{d1} , T_{d2} , T_{i2} оптимізують контури швидкого регулювання для компенсації збурень у періоди, які зрівнюються з періодом коливальності змінного току ($T=20$ мс).

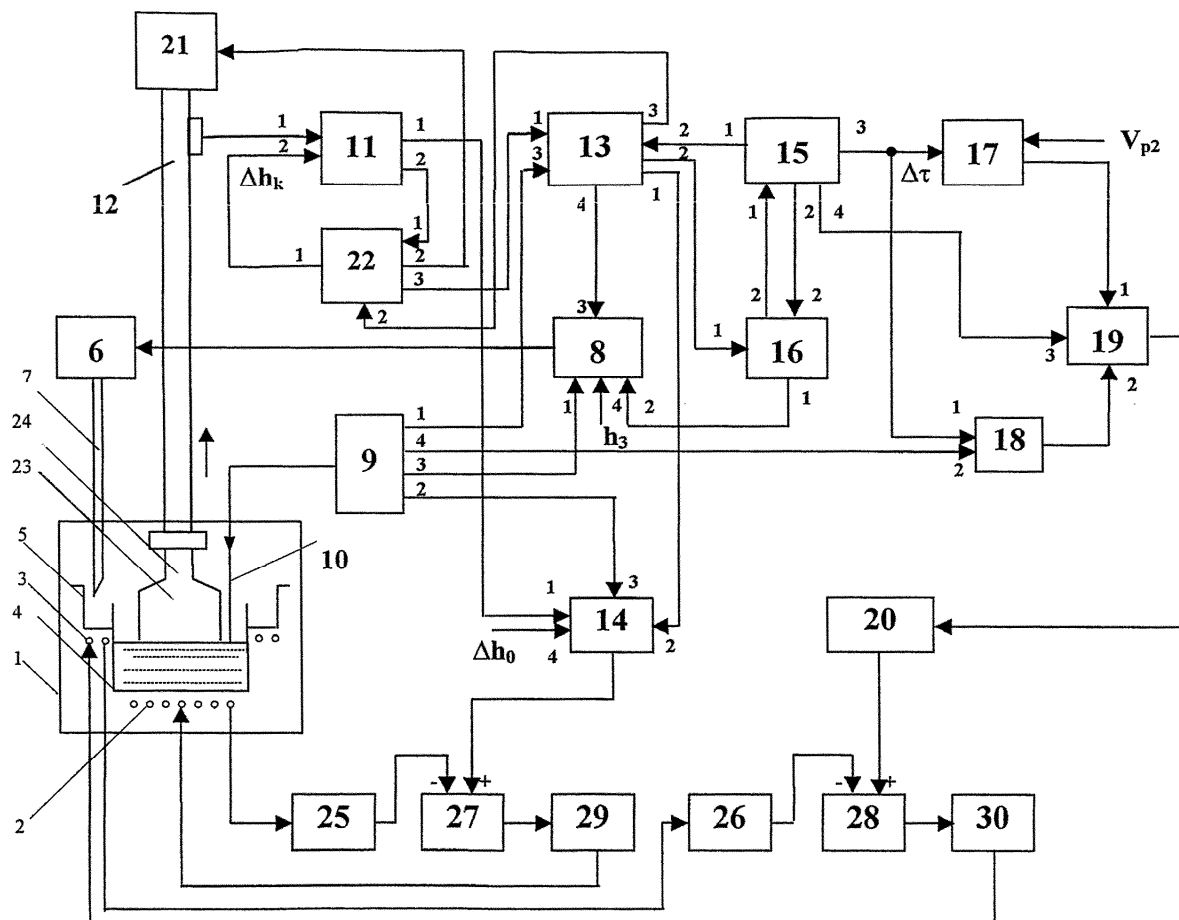
Загальною умовою для даних контурів є те, що вплив на розплав при оптимальній настройці ПІД-контролерів 29, 30 та об'єкта регулювання у цілому становитиме $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

Таким чином, у зазначеному винаході за рахунок компенсації збурень відносно відхилення діаметра монокристалів зменшується, чим забезпечується підвищення їх якості.

У таблиці приведені характеристики зрівняння великогабаритних сцинтиляційних монокристалів CsI(Na) з розмірами буль $\varnothing 320 \times 600$ мм, які вирощені з використанням пристроїв прототипу та зазначеного, а також характеристики виготовлених з них детекторів.

Виходячи з таблиці, зазначений пристрій у зрівнянні з прототипом, дозволяє одержати монокристали високої якості, завдяки можливості здійснення більш якісного контролю їх росту та підвищенню надійності управління процесом вирощування.

Характеристики монокристалів		Прототип			Зазначений пристрій		
		1	2	3	1	2	3
Відносний відхил діаметра монокристала, $\Delta d/d$, %		0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Товарний вихід буль, здатних для виготовлення виробів, %		90	90	92	93	93	93
Характеристики детекторів, вирізаних з буль	Власне енергетичне розрішення, R_c , %	6,3	6,3	6,2	6,1	6,2	6,2
	Світловий вихід, C , У.Е.С.В.	2,8	2,7	2,7	2,9	2,9	2,9



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22