

На правах рукопису

НЕКРАСОВ ВАСИЛЬ ВОЛОДИМИРОВИЧ

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА
ЗАСОВІВ КОМП'ЮТЕРНОГО УПРАВЛІННЯ
ПРОЦЕСАМИ ВИРОЩУВАННЯ
МОНОКРИСТАЛІВ З РОЗПЛАВУ**

**05.13.08 - Обчислювальні машини, системи та мережі,
елементи та пристрої обчислювальної техніки
та систем керування**

**05.13.07 - автоматизація технологічних
процесів та виробництв**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків — 1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у ДержНДО "Селді" та Інституті монокристалів НАН України, м. Харків

Науковий керівник: - доктор технічних наук, професор
Воронов Віктор Георгійович

Офіційні опоненти: - Лауреат Державної премії України
доктор технічних наук, професор
Диденко Константин Іванович
- старший науковий співробітник,
кандидат технічних наук,
Ключко Виталий Алексеевич

Провідна організація: Українська інженерно-педагогічна
Академія, м. Харків

Захист відбудеться - 3-08 1997р. о 14 годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.09.06 при Харківсь-
кому державному політехнічному університеті,
310002, м. Харків, МСП, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці університету

Автореферат розісланий "2-06 1997р.

Вчений секретар _____ професор
спеціалізованої вченої ради _____ Кізілов В. У.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00751184 (Q)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність: Однією з характерних особливостей розвитку сучасних технологій одержання монокристалів великих розмірів має її розробка та вдосконалення на підставі методологічного підходу до поетапного вирішення окремих задач з точки зору кінцевої мети виробничого процесу. Тому для одержання якісних виробів з монокристалів необхідно не тільки забезпечити раціональні умови їх вирощування, але й враховувати умови їх подальшого використання.

Зараз для вирощування монокристалів з розплавів розробляються потужні технологічні комплекси, які дозволяють одержувати продукцію у необхідних об'ємах. В той же час зростають вимоги до керованості процесу та відтворюваності одержання результатів. Тому задача автоматизації технологічного процесу вирощування монокристалів з розплаву з метою підвищення точності підтримання діаметру монокристалу, а також забезпечення потрібної якості готових виробів виявляється вельми актуальною задачею і має як теоретичний, так і практичний інтерес.

Ефективне функціонування системи управління процесом вирощування монокристалів великих розмірів може бути досягнуто, якщо забезпечити взаємопов'язане управління на усіх етапах цього багатостадійного процесу з використанням алгоритмів, які враховують як характеристики кристалів, так і параметри технологічного процесу їх одержання.

Метою роботи являється розробка та дослідження методів і засобів управління для процесу автоматизованого одержання монокристалів великих об'ємів з розплаву. Відповідно до зазначеної

мети в дисертаційній роботі поставлені задачі:

1. Дослідити об'єкт управління (процес вирощування монокристалів великого об'єму з розплаву) на стадіях контролю характеристик розплаву, затравлювання, розрощування та росту кристала з постійним діаметром, здійснити вибір інформаційного параметру на підставі аналізу існуючих методів та засобів управління цим процесом.

2. Провести обґрунтований вибір засобів контролю властивостей розплаву та розробити пристрій високої чутливості та шумостійкості для його здійснення.

3. Розробити підсистему автоматичного затравлювання й методу розрощування монокристалів великого об'єму.

4. Розробити засіб управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму з урахуванням особливостей стадії розростання на підставі алгоритму для генерації функцій, які описують вихід з метою одержання бажаної характеристики.

5. Дослідити особливості регулювання процесу вирощування кристалів великих розмірів, вибрати та розробити елементи та пристрої для системи автоматичного управління одержання монокристалів великих об'ємів з використанням комп'ютерних управляючих комплексів.

6. Розробити технічне та програмне забезпечення системи управління процесом вирощування монокристалів на підставі запропонованих алгоритмів та пристроїв.

Методи дослідження базуються на методах аналізу та синтезу комп'ютерних систем управління, статистичної обробки експериментальних результатів, регресійного аналізу, дискрет-

ної математики.

Наукова новина досліджень, яка забезпечила досягнення мети роботи, складається у тому, що:

- обґрунтована можливість застосування комплексних вимірювань у системі управління процесом вирощування монокристалів засобу оцінювання електропровідності розплаву,

- запропонована та досліджена структура нового пристрою, який реалізує більш раціональний, з точки зору точності та певності контролю, принцип перетворення інформації для універсального вимірювача рівня розплаву.

- запропонований та обґрунтован новий засіб визначення моменту початку кристалізації, в результаті використання якого стала можлива автоматизація процесу вирощування практично на усіх стадіях росту.

- розроблена математична модель процесу для стадії зміни діаметра кристала до потрібного постійного рівня,

- розроблено новий засіб управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму з розплаву, який обґрунтовано на запропонованій методиці розрахунку діаметра кристала на стадії розростання монокристалів великого об'єму,

- здійснено синтез структури системи адаптивної фільтрації даних, яка дозволяє здійснити корекцію складу та параметрів фільтруючих перетворювачів по результатах обробки оперативної інформації.

Особистий внесок автора у наукові результати роботи поданий у вигляді положень, що винесені на захист:

- засіб визначення моменту початку кристалізації для системи

управління процесом вирощування монокристалів з розплаву,

- засіб управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму з розплаву,

- структура пристрою для контролю електропровідності розплаву, алгоритми та програми, які забезпечують його функціонування, а також оцінку похибки вимірювань,

- математичні моделі, методики та спеціальні апаратні та програмні засоби для дослідження процесу вирощування монокристалу на усіх стадіях його зростання.

- математичні моделі та програмні засоби обробки даних у системі управління як у режимі реального часу, так і в оперативному режимі.

Практична вартість одержаних результатів полягає у:

- оцінці похибки пристроїв контролю характеристик розплаву,

- розробці методики вимірювання діаметра монокристала у процесі його зростання,

- розробці алгоритмів та програм системи управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму з розплаву на усіх стадіях їх росту,

- розробці алгоритмів та програм для обробки даних, необхідних для корекції використаних у системі управління перетворювачей;

- дослідженні та експериментальній перевірці результатів розробки комп'ютерної системи управління процесом вирощування кристалів великих розмірів з розплаву,

- використанні запропонованих методів та засобів у виробни-

чих умовах, де вони знайшли застосування при вирішенні задачі одержання сцинтиляційних монокристалів великих об'ємів з розплаву.

Реалізація впровадження результатів роботи. Реалізація практичних результатів досягнена при виконанні науково-дослідних робіт у Інституті монокристалів НАН України та ДержНДО "Селді".

Вимірювачі рівня розплаву та моменту початку кристалізації втілені у виробничих та лабораторних умовах, що підтверджується відповідними актами впровадження. Вимірювання електропровідності розплаву проведено у Дніпропетрівському металургійному інституті, експериментальне дослідження системи управління процесом вирощування здійснено у ДержНДО "Селді". Результати роботи можуть бути також використані у виробництві інших монокристалів великих об'ємів при їх автоматизованому витягуванні з розплаву.

Пілковита достовірність результатів забезпечується коректною постановкою задачі управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму, комплексним характером досліджень, зіставленням експериментальних результатів, одержаних на ПЕОМ, з теоретичними розрахунками, практичними результатами експлуатації запропонованих елементів системи управління у виробничих умовах.

Апробація роботи. Основні положення та результати роботи подавались на VII конференції з процесів росту та синтезу напівпровідникових кристалів та плівок, (Новосибірськ, 1986), III Межгалузевій нараді по автоматизації, моделюванню та за-

совів регулювання процесів вирощування (Москва, 1986), III Українській конференції з автоматичного управління (Севастополь, 1996).

Публікації. За результатами досліджень надруковано 6 робіт, у тому числі одержано 2 свідоцтва про винаходи.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 144 сторінках машинописного тексту, вміщує 15 малюнків та 10 таблиць та складається з вступу, чотирьох глав, заключення, 3 додатків та списку літератури з 78 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, визначено мету роботи, сформульовані положення, що виносяться на захист, наукова новизна та практична цінність питань, які складають предмет вивчення, а також зроблена загальна характеристика роботи.

У першій главі здійснені дослідження об'єкту управління (процесу вирощування монокристалів великих об'ємів з розплаву) та вибір інформаційного параметру для системи управління.

Наведена порівняльна оцінка існуючих методів вирощування монокристалів великого об'єму та показано, що найбільш ефективним у виробничих умовах зостається метод Чохральського. Розглянуті основні тенденції в галузі його автоматизації. Зроблено висновок про те, що при автоматизації процесу витягування кристалів великих розмірів з розплаву, с точки зору створення САУ, найбільш важливим є первинний перетворювач рівня

розплаву, тому що датчиків маси з великим діапазоном контролю та достатньою точністю в теперішній час немає, а точність вимірювання рівня не залежить від розміру зразку. Проведений в дисертації аналіз засобів управління діаметром вирощуваного монокристалу з позицій їх ефективності показує, що найкращі результати одержуються при впливі по сигналу датчика рівня на температуру розплаву або при спільній зміні температури розплаву та швидкості витягування.

Як показано у роботі, на теперішній час при практичній реалізації систем управління вирощуванням монокристалів великих об'ємів ще досі не переборені істотні недоліки. Для багатьох методів, що використовуються у промисловому виробництві, реалізується тільки локальне регулювання параметрів технологічних пристроїв, що не дозволяє забезпечити потрібну кількість та відтворюваність характеристик кристалів. Не вирішена задача автоматизації етапів затравлювання та розрощування при одержанні сцинтиляційних монокристалів великих об'ємів. Обмежений вибір елементів контролю не орієнтовано на використання при управлінні ростом кристалів сучасних управляючих обчислювальних комплексів.

В роботі зроблено висновок, що для створення пристроїв та систем управління необхідним є більш повне знання функціональних зв'язків параметрів якості кристала з режимами технологічного процесу, які встановлюються як аналітично, так і експериментально. На підставі результатів критичного аналізу існуючих методів управління був зроблений висновок про те, що для усунення існуючих недоліків необхідно здійснити математич-

не моделювання процесу вирошування на різних його стадіях, а також розробити методи та засоби, які дозволяють досягти поставленої в дисертації мети досліджень.

Друга глава присвячена дослідженню перетворювачей властивостей розплаву, а також алгоритмізації задачі розробки автоматизованої системи контролю і аналізу властивостей розплаву.

Показано, що модель процесу кристалізації може бути подана у вигляді системи, яка складається з послідовно з'єднаних ланок: постачальна середа - межа розділу фаз - кристал. Управляючі впливи на процес виробляються та здійснюються за допомогою технічних пристроїв систем контролю, управління та елементів кристалізаційного устаткування, при цьому властивості постачальної середи здійснюють істотний вплив на процес управління. Недоліками відомих засобів контролю властивостей розплаву з'являється низька точність, обумовлена відсутністю автоматизації процесу вимірювання параметрів постачальної середи, що, як правило, приводить до необхідності візуального визначення початку кристалізації.

В дисертації запропоновано засіб контролю параметрів розчинів-розплавів, практична реалізація якого, з метою розширення функціональних можливостей системи управління, дозволила забезпечити одночасний контроль рівня, температури та електроопору розплаву. Цей засіб контролю полягає у тому, що суміш оксидів розплавляють, перегрівають розплав та охолоджують з заданою швидкістю, одночасно вимірюють температуру, рівень та електроопір, при цьому електроопір розплаву

вимірюють на частотах у діапазоні $50 \div 50 \cdot 10^3$ Гц, знаходять резонансну частоту у діапазоні $500 \div 25 \cdot 10^3$ Гц, після чого знаходять реактивну та активну складові електроопору, а про початок кристалізації судять по зміні величини активної складової електроопору. Інформація про електропровідність розплаву у передкристалізаційному стані та про положення межі розділу фаз у процесі росту використана у подальшому для формування зворотнього зв'язку у запропонованій системі управління.

Вирішення задачі створення вимірювача рівня розплаву, який матиме високу чутливість, точність та швидкодіяльність дозволило обгрунтовано підійти до вибору принципу перетворення інформації. В роботі показано, що використання фазового принципу перетворення опору розплаву в електричний сигнал виявляється найбільш важливим. Розглянена практична схема мостового фазообертача з оцінкою його чутливості та нелінійності характеристики.

Збереження вимог до швидкодії, точності та чутливості виконано при перетворенні вимірюваної величини у дискретну форму. Істотне зменшення похибки дискретного перетворювача у запропонованому пристрої досягається за рахунок постійного часу вимірювання, великого періоду вхідного сигналу. Досліджені методичні похибки перетворювача, які складаються з похибки квантування та похибки, що виникає при наявності різниці у формі кривої вхідного сигналу від синусоїдальної. Найбільша похибка квантування та похибка за рахунок нелінійних деформацій оцінювались за формулами: $\sigma_{\varphi} = 360^{\circ} F_c / \sqrt{6} f_k$; $\Delta\varphi_{\max} = 360 K_f / \pi$, де K_f - коефіцієнт гармонік, %, F_c - ча-

стота вхідного сигналу, f_k - частота квантуючого сигналу.

Апаратна реалізація корекції систематичної похибки перетворювача здійснена шляхом введення додаткового каналу з еталонними опорами, значення яких близькі до нижньої та верхньої меж діапазону вимірювання електроопору розплаву у процесі вимірювання. Результатом проведених досліджень виявилось те, що найбільша похибка квантування при $f_k = 10$ МГц склала 1,4%, флуктуаційна похибка квантування - $0,5 \cdot 10^{-5}\%$, систематична складова похибки - 1,2% (для діапазону опору розплаву $0.1 \div 5$ Ом), а випадкова складова похибки - не більш 0.0015 Ом.

Оскільки методичні помилки у процесі вимірювання пов'язані також зі складною електричною структурою вимірювальної комірки, запропоновано у повному опорі комірки Z_x , окрім контрольованого активного опору розплаву R_0 , враховувати внесок активного опору контактів та дротів R_k , індуктивного опору вимірювальної ланки X_L та змішаного опору приелектродного шару Z_{np} , який складається з активного $R_{ш}$ та ємнісного опору X_c . Вимірювання електроопору розплаву запропонованим способом на частотах в діапазоні $50 \div 50 \cdot 10^3$ Гц з визначенням резонансної частоти у діапазоні $500 \div 25 \cdot 10^3$ Гц дозволило у режимі реального часу визначити усі складові повного опору Z_x комірки, а про початок кристалізації судити по зміні активної складової опору R_0 .

За допомогою розроблених технічних устаткувань використано три контури управління: 1) по швидкості спадання рівня розплаву ($U_{y1} = F_1[\xi(t)/dt]$); 2) по зміні електроопору розплаву ($U_{y2} = F_2[R_i(t)]$); 3) по зміні температури розплаву

($U_{вз} = F_3[t_p^0(t)]$). Запропоновані в дисертації технічні засоби реалізації нового засобу контролю властивостей розплаву виявились основою побудування системи управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму.

У третьій главі розглянені результати розробки та дослідження цифрової системи управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму з розплаву на усіх стадіях процесу кристалізації - затравлювання кристала, розрощування кристала до заданого поперечного перерізу, вирощування кристала у висоту.

В роботі показано, що стадія затравлювання, хоча є самою недовгочасною операцією у всьому процесі вирощування, у той же час найбільш відповідальна, оскільки якість її виконання здебільш визначає якість вирощуваного кристала. В наш час функції управління процесом затравлювання для монокристалів великого об'єму виконуються без автоматичних пристроїв, що потребує великих витрат часу, високої кваліфікації та напруженої уваги оператора. В дисертації ця задача вирішена на підставі запропонованого засобу винаходження початку кристалізації при вирощуванні кристалів з розчин-розплавів.

Суть засобу полягає у наступному. Перегрівають розплав, а потім починають охолоджувати його з необхідною (малою) швидкістю. Одночасно за допомогою вимірювача рівня періодично вимірюють температуру та електроопір на поверхні розплаву. Регіструючи часову залежність температурного коефіцієнта електроопору, судять про початок кристалізації по зміні його величини в 10–100 разів.

Для автоматизації процесу розрощування кристала за діаметром при його витягуванні з розплаву необхідно задавати програму зміни відповідних параметрів, яку найбільш просто здійснити технічно, та яка забезпечила б достатньо повільний перехід діаметра кристала до заданого значення без різких змін теплових умов та швидкості росту кристала. У цей час на практиці вживаються різноманітні методики розрощування. Загальним у них з'являється те, що діаметр кристала у процесі росту за допомогою регуляторів системи управління автоматично або без них змінюють з плином часу від D_g до величини D_G . Відміна цих методик полягає у характері зміни діаметру кристалу.

Найбільш часто на практиці використовується методика, заснована на емпіричних засадах, коли повільний перехід від D_g до D_G залежить тільки від майстерності технічного персоналу, однак одержана у цьому випадку поверхня кристалу далека від досконалості. Для автоматизації процесу виводу кристала на заданий діаметр використовується методика розрощування, по якій залежність перерізу кристалу від часу з'являється наслідком параболічної моделі зміни рівня розплаву $h = a + bt + ct^2 - dt^3$. Однак при вирощуванні кристалів великих об'ємів забезпечення повільного переходу від стадії розрощування до стадії росту шляхом використання параболічної твірної поверхні кристалів приводить до визначної перевитрати сировини. Відповідні витрати стають особливо суттєвими при масовому виробі монокристалів.

В дисертації розроблена методика розрощування, яка окрім повільного переходу до циліндричної поверхні для стадії росту

при постійному діаметрі, забезпечує мінімально можливі витрати сировини на стадії розрощування. Знайдено, що перша умова задовольняється, якщо тіло оберту, утворюване поверхнею кристалу на стадії розрощування, являє собою параболоїд оберту, а другій вимозі відповідає конічна поверхня (т.б. використована модель описується кусково-неперервною монотонно зростаючою функцією). Разом з рахунком особливостей процесу вирощування та форми кристалів різноманітних речовин, момент часу між двома етапами розрощування, а також початковий та кінцевий діаметр кристалу D_g і D_G та час розрощування t_p , визначають залежність діаметру кристалу від часу. Економія сировини становить 2-3%, що підтверджує достатньо високу ефективність запропонованої методики.

Як показано в роботі, використовувані у теперішній час засоби управління засновані на використанні стандартного контуру регулювання по сигналу датчика рівня розплаву. Однак при реалізації цих засобів слід мати на увазі, що вирощування кристалів великого діаметру пов'язане з рядом труднощів, обумовлених великою вільною поверхнею початкового розплаву. Наприклад, нестійкість росту на стадії вимірювання діаметру обумовлена, в основному, відсутністю достатньо високого радіального градієнта температури у розплаві, який має велику вільну поверхню. Ця поверхня у значній мірі знижує ефективність використання електроконтактного датчика для управління процесом розрощування, особливо на початковій його стадії, коли відносна зміна рівня розплаву у тиглі за рахунок росту кристала невелике. Використання тиглів змінного перерізу не завжди доціль-

но, оскільки розмір кристалу у такій системі має технологічні обмеження. Як відомо, уведення у схему управління диференціювання повільно змінного сигналу дозволяє суттєво підвищити шумостійкість процесу. Тому, визначення замість істотних значень рівня розплаву у процесі зросту, швидкості зменшення могло б перебороти вказаний недолік. Щоправда для цього повинен бути розроблений алгоритм у якому враховувалася б залежність швидкості зміни рівня розплаву від фізико-хімічних характеристик кристала та параметрів процесу його вирощування.

У цій роботі автором, завдяки запропонованій моделі розрощування та на підставі уведення додаткового диференціатора запропоновано новий засіб управління, а саме: вимірювання значення швидкості зміни рівня розплаву використовується для порівняння з розрахованим по матеріальному балансу мас і моделі розрощування, після чого на підставі сигналу неузгодженості формується управляюча дія. При цьому генерація заданих значень швидкості зменшення рівня розплаву у процесі розрощування здійснюється на m -м кроці дискретного управління у відповідно до залежності:

$$V_{L,m} = \begin{cases} \frac{V_s}{b[D_G - a(\tau - m)^3]^{-2} - 1} & t_1 \leq t \leq t_p \\ \frac{V_b}{b[D_g + a_1 m]^{-2} - 1} & 0 \leq t \leq t_1, \end{cases}$$

де $m=1 \dots M$; $M = \lfloor \frac{t_p}{T_0} \rfloor [\dots]$ - ціла частина числа

$$a = \frac{(D_g - D_p) T_0}{(t_p - t_1)^2 (t_p + 2t_1)}; \quad b = \frac{e_1}{\rho_s} D_1^2;$$

$$c_1 = \frac{D_1 - D_g}{t_1} T_0 \quad \tau = \frac{t_p}{T_0}.$$

T_0 – цикл управління (дискретного)

Ефективність процесу вирощування при використанні цього засобу підвищується за рахунок скорочення часу росту кристалів та покращення якості процесу регулювання. При цьому забезпечується стійкий режим роботи системи автоматичного управління діаметром кристалу на протязі усього процесу вирощування без перебудови параметрів локального регулятора.

У четвертій главі розглянені практичні результати реалізації систем управління процесами одержання монокристалів з розплаву. Здійснено вибір універсальних технічних засобів для інформаційно-керуючих систем вирощування монокристалів та контролю параметрів розплаву. Визначені особливості практичних схемних рішень вимірювача рівня розплаву та здійснено експериментальне дослідження системи управління процесом вирощування. Описана блок-схема комп'ютеризованого обладнання, а також структура інформаційного забезпечення задачі визначення моменту початку кристалізації. Розглянені особливості технічної реалізації аналого-цифрових перетворювачів, а також особливостей програмного управління установкою. У процесі роботи здійснено синтез структурної схеми технічного забезпечення системи, а також алгоритму роботи ПЗ. Все це дозволило здійснити практичне використання розроблених алгоритмів, моделей та технічних засобів у промислових умовах.

У зв'язку з необхідністю подальшого вдосконалення процесу вимірювань параметрів розплавів, а також з метою вирішення комплексних задач, що виникають у практиці по управлінню вимірюванням монокристалів великого об'єму був розроблений багатофункціональний пристрій для вимірювання електропровідності розплавів, який складається з вимірювальної комірки, блоку вимірювання опору, регулятора температури та обчислювального пристрою, у склад якого додатково входить перетворювач аналог-цифра.

Вимірювальна комірка являє собою водоохолоджувану циліндричну піч, в якій розташований молибденовий нагрівач, оточений графітовими екранами та теплоізоляцією з графітного волокна. Тигель з досліджуванним розплавом заземляється та розташовується на жаростійку керамічну підставку. Через керамічну трубку з вакууміруванням підводяться горячі снаї термопар до розплаву, нагрівачу та тиглю. До фазового модулятора, який входить до складу блоку вимірювань через один з виводів термопар підключен вимірювальний опір розплаву. За допомогою інших термопар знімають характеристики диференціального термічного аналізу.

Для визначення моменту початку кристалізації по зміні температурного коефіцієнта активної складової електроопору розроблено алгоритм, який включає у себе операції вимірювання температури розплаву та опору комірки при фіксованих частотах, пошуку резонансної частоти у заданому діапазоні температур розплаву та визначення електроопору, розрахунок індуктивної та ємнісної складових, а також шунтуючого опору приелек-

тродного шару та активної складової опору та її температурного коефіцієнта.

До складу програмного забезпечення системи контролю характеристик розплаву та початку його кристалізації входять модулі, які виконують функції перевірки точності градуїровочних характеристик та правильність функціонування технічних пристроїв, відповідно, каналу перетворення вимірювального опору розплаву та температурного каналу.

Ефективне функціонування автоматизованих систем та пристроїв припускає проведення у оперативному режимі аналіз експериментальних даних, одержаних у ході експерименту, зокрема, з метою корекції параметрів алгоритмів первинного перетворення. Суттєвий об'єм набутого експериментального матеріалу дозволив у цій роботі реалізувати комплексний підхід до задач фільтрації даних та градуїровки первинних перетворювачей.

У дисертації використано адаптивний метод формування фільтруючих перетворювачей. Метод полягає у тому, що фіксуються декілька однотипних реалізацій процесу вирощування, виконується багатократна обробка даних з використанням різних блоків фільтрації. Після реалізації кожного варіанту розраховується значення комплексного критерія якості фільтрації, по співвідношенню значень яких судять про оптимальний варіант набору фільтруючих елементів. У процесі експлуатації комплексу проводиться періодична оцінка якості фільтрації і знову виконується настроювання його параметрів, що забезпечує адаптацію комплексу до змінних експериментальних даних.

У зв'язку з практичною необхідністю виконання градуїровки різних перетворювачів перед кожною реалізацією процесу вирощування, розроблено алгоритм, який засновано на обробці файлу, який утримує значення термодедс й термоопору, та формування градуїровочного файлу термодедс-температура. Програмний комплекс градуїровки виконує також функцію корекції температури за результатами реперних вимірювань, розрахунок температури виконується з використанням регресійних моделей характеристики еталонного датчика.

Розроблені у дисертації алгоритми та програмні модулі їх реалізації дозволили підвищити ефективність обробки даних у оперативному режимі і здійснити обґрунтований вибір та подальшу корекцію параметрів програмних блоків, виконуючих перетворення вхідних сигналів системи управління процесом росту монокристалів великих об'ємів, а також контролю характеристик розплаву.

У додатках наведені результати впровадження розроблених методів та пристроїв на виробничих підприємствах, технічні характеристики та схеми, запропоновані для використання у системі управління, програмні модулі та приклади їх функціонування при реалізації розроблених у дисертації моделей та алгоритмів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Досліджено об'єкт управління (процес вирощування монокристалів великих об'ємів з розплаву) на стадіях контролю ха-

рактичних розплаву, затравлювання, розрощування та росту кристала з постійним діаметром, здійснено вибір інформативного параметру на підставі аналізу існуючих методів та засобів управління цим процесом.

2. Проведено обґрунтований вибір засобу контролю властивостей розплаву та розроблено пристрій підвищеної чутливості та шумостійкості для його здійснення. Вирішена задача перетворення інформації для універсального вимірювача рівня розплаву, а також розроблена методика цифрового перетворювача градуїровочних характеристик вимірювального каналу, що забезпечує можливість їх корекції. Запропонована схема заміщення вимірювальної комірки.

3. Розроблено новий засіб вимірювання рівня розплаву, на підставі якого розроблена підсистема автоматичного затравлювання кристалу.

4. Розроблена модель зміни діаметру кристалу та на її підставі - методика розрощування монокристалів великих об'ємів.

5. Розроблено засіб управління процесом вирощування монокристалів великих об'ємів з обліком особливостей стадії розрощування на підставі алгоритму для генерації функції, яка описує вихід з метою отримання бажаної характеристики.

6. Досліджені особливості регулювання процесу вирощування кристалів великих розмірів та розроблені елементи та пристрої для системи автоматичного управління одержання монокристалів великих об'ємів з використанням комп'ютерних управляючих комплексів.

7. Розроблені технічне та програмне забезпечення системи

управління процесом вирощування монокристалів на підставі запропонованих алгоритмів та пристроїв.

8. Проведені дослідження показали, що:

- дослідження характеристик розплаву на підставі запропонованого пристрою контролю електропровідності дозволяє не тільки вимірювати температурну залежність цього параметру, а також використати розроблену методику для оцінки стану об'єкту дослідження при значній зміні вихідних даних, особливо при зміні фазового стану речовини;

- визначення моменту початку кристалізації по зміні температурного коефіцієнту активної складової електроопору відрізняється більшою відтворюваністю та достовірністю, ніж застосований в цей час візуальний метод; випробування цього засобу та розробленого для його реалізації програмного забезпечення здійснено у ДержНДО "Селді" при безпосередній участі автора;

- комп'ютерна система управління процесом вирощування монокристалів великого об'єму забезпечує стійку роботу вирощувального пристрою у всьому діапазоні зміни її технологічних параметрів. При цьому порівняно з базовою системою управління вона забезпечує отримання монокристалів більш високої якості, особливо у об'ємі відповідним стадії зміни діаметру кристалу (діаметр кристалу дорівнював 230 мм) при зниженій порівняно з базовою системою витраті сировини.

9. Розробка методів та засобів для управління процесом вирощування монокристалів здійснена відповідно до плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт підприємства.

10. Результати дисертаційної роботи використані та впроваджені у Маріупольському та Дніпропетровському металургійних інститутах, на підприємстві ДержНДО "Селді".

Зміст дисертації відображено у 6 наукових роботах, основні з яких приведені у авторефераті:

1. Косміна М.Б., Воронов О.П., Суздаль В.С., Некрасов В.В., Епіфанов Ю.М. Дослідження електропровідності розплавів системи $xLiNbO_3 - (1-x)LiVO_3$. - Тез. докл. VII конф. по проц. зросту та синтезу налівпр. кристалів та плівок, Новосибірськ, 1986.

2. Суздаль В.С., Некрасов В.В., Воронов О.П., Косміна М.Б., Епіфанов Ю.М. Автоматизація процесу вирощування плівок з розчин-розплаву на підставі мікро-ЕОМ. - Тез. докл. III Міжгал. нар. "Автоматиз. моделюв.та засоби регулюв. проц. вирощ.", с.71-75, 1986.

3. А.С. СРСР N 1415067//Рівномір//Суздаль В.С., Некрасов В.В., Воронов О.П., Косміна М.Б., Епіфанов Ю.М.//БВ, N29, 1988.

4. Воронов О.П., Некрасов В.В., Косміна М.Б., Суздаль В.С., Герасімчук Л.І., Стрельников Н.І., Епіфанов Ю.М. Автоматизованне одержання епітаксійних плівкових структур. - Тез. докл. VII конф. по зросту крист., т.2, М., 1988, с.299.

5. А.С. СРСР N 1589173//Засіб винаходу початку кристалізації при вирощуванні кристалів з розчин-розплаву//Косміна М.Б., Воронов О.П., Некрасов В.В., Суздаль В.С., Епіфанов Ю.М.//БВ, N32,1990.

6. Воронов В.Г., Некрасов В.В. Автоматизація задач кон-

тролю властивостей розплаву при вирощуванні монокристалів. - Тез. докл. III Української конференції по автоматичному управлінню, Севастополь, 1996, с.12-13

Особистий внесок. Основні результати дисертації одержані особисто автором. У роботі [1] дисертанту належить постановка задачі дослідження електропровідності розплавів з метою подальшого використання при оцінці моменту початку кристалізації; у роботі [2] - розробка структурної схеми системи комп'ютерного управління, а також основних блоків її технічного забезпечення, у роботі [3] - основна ідея, моделювання та експеримент, у роботі [4] - алгоритмічне та програмне забезпечення задачі; у роботі [5] - ідея винаходу та основна відзнака - вимірювання електроопору; у роботі [6] - моделі, алгоритми та структурна схема системи контролю характеристик розплаву.

Аннотація

В.В.Некрасов. Разработка и исследование методов и средств компьютерного управления процессами выращивания монокристаллов из расплава. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, 05.13.07 - автоматизация технологических процессов и производств, Харьковский Государственный Политехнический Университет, Харьков, 1996 г. Защищается 6 научных работ, из них 2 авторских свидетельства, в которых дано теоретическое и экспериментальное обоснование разработанных методов и средств контроля и управле-

ня выращиванием монокристаллов больших размеров из расплава на различных стадиях роста. Описаны результаты, которые получены с использованием предложенного способа управления в лабораторных и производственных условиях. Приведены примеры, алгоритмы и программы.

ABSTRACT

to dissertation V.V. Nekrasov's "Work out and investigation of methods and conditions computer operationg process growing single crystals from melt". Thesis for a Candidate of technical degree by specialities 05.13.08 - Computer machines, system and Networks, units and devices of computing machinery and control systems and 05.13.07 - control technolodgy process and industry. Kharkov State Politechnical University, Kharkov, 1996.

Defends: teoretical and experimental basis, exploied methods and remediys of controls and operations, of the process of growing from melt of single cristals of big dimentions.

Exploits of the authore be exsamination in laboratory and industry conditions. Also brings exampls, algoritms and programms.

Ключові слова: система управління, вирощування монокристалів з расплаву, електропровідність розплаву.

Підписано до друку 20.10.96. Формат 60x80 1/16. Палір для
розмножувальних апаратів. Друк комп. Ум. друк. арк. 1,0.
Обл. - вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. N . Безкоштовно.

Копіювальний центр ДержНДО "Селді"

м. Харків, мд. Незалежності, Держпром 1 п.

AB 28.000

432956

AB 38.060

Підписано до друку 20.10.96. Формат 60x80 1/16. Папір ляс.
розширювальний апаратів. Друк кола. Ум. друк. арк. 1,0.
Обл. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. № Безкоштовно.

Композиторський центр ДержНДО "Світ"
м. Харків, вул. Незалежності, Держпром 1 а