



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 49104

(13) C2

(51) 6 C30B15/22

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ДІАМЕТРА МОНОКРИСТАЛА КРЕМНІЮ, ВИРОЩУВАНОГО З РОЗПЛАВУ

1

2

(21) 2000084950

(22) 21 08 2000

(24) 16 09 2002

(46) 16 09 2002, Бюл. № 9, 2002 р.

(72) Берінгов Сергій Борисович, Куликовський
Едуард Володимирович, Самохвалов Володимир
Олександрович(73) ЗАКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
"ПІЛЛАР"(56) Нашельский А. Я. Технология специальных
материалов электронной техники -1993, с. 160 –
164. EP 0183221 A, 04.06.1986. US 5656078,
12.08.1997. US 3740563, 19.06.1973.

(57) 1 Спосіб контролю діаметра монокристала кремнію, вирощуваного з розплаву, що включає регулювання температурних і швидкісних параметрів процесу вирощування за допомогою системи автоматичного регулювання діаметра, що має у своєму складі оптичний датчик з чутливим елементом, за допомогою якого реєструють зміну напрямку випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристальній області під час вирощування монокристала, і визначення моменту виходу на циліндричну частину вирощуваного монокристала, який відрізняється тим, що оптичну вісь датчика розташовують похило до площини, що проходить через вісь вирощуваного монокристала, момент виходу на циліндричну частину вирощуваного монокристала визначають у залежності від зафіксованого на вимірювальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання меніска стовпчика розплаву в підкристальній області вирощеного попередньо монокристала порівняння при виході на його циліндричну частину, і при цьому додатково встановлюють початкове положення рівня розплаву вирощуваного монокристала шляхом суміщення випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристальній області затравки вирощуваного монокристала з зафіксованим на вимірювальній шкалі оптичного датчика положенням випромінювання від меніска стовпчика розплаву затравки при вирощуванні зазначеного монокристала порівняння.

2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що

початкове положення рівня розплаву встановлюють шляхом переміщення тигля.

3 Спосіб за п. 1 або п. 2, який відрізняється тим, що кут зазначеного нахилу оптичної осі датчика становить 5-20°.

4 Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, який відрізняється тим, що при вирощуванні монокристала кремнію з діаметром, рівним діаметру вирощеного попередньо монокристала порівняння, момент виходу на циліндричну частину здійснюють при суміщенні випромінювання від меніска стовпчика розплаву вирощуваного монокристала з зафіксованим на вимірювальній шкалі положенням випромінювання від меніска стовпчика розплаву монокристала порівняння, що відповідає моменту виходу на його циліндричну частину.

5 Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, який відрізняється тим, що при вирощуванні монокристала кремнію з діаметром, що відрізняється від діаметра вирощеного попередньо монокристала порівняння, момент виходу на циліндричну частину визначають за формулою

$$Y_3 = \frac{(Y_c - Y_o) \times D_3}{D_c} + Y_o,$$

де Y_3 - потрібне положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву вирощуваного монокристала на вимірювальній шкалі оптичного датчика, що відповідає моменту виходу на заданий діаметр його циліндричної частини, мм,

Y_c - зафіксоване на вимірювальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву монокристала порівняння, що відповідає моменту виходу на його циліндричну частину, мм,

Y_o - зафіксоване на вимірювальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання меніска стовпчика розплаву затравки, що відповідає початковому рівню розплаву, мм,

D_3 - заданий діаметр циліндричної частини вирощуваного монокристала, мм,

D_c - фактичний діаметр циліндричної частини монокристала порівняння, мм.

(13) C2

(11) 49104

(19) UA

Винахід відноситься до регулювання росту монокристалів кремнію, одержуваного за методом Чохральського, зокрема, до способу контролю діаметра монокристалів кремнію, вирощуваного з розплаву.

При одержанні бездислокаційних монокристалів кремнію за методом Чохральського з розплаву на затравку вирощують спочатку т.зв. «шийку», потім верхній конус, закінчивши розрощування конічної частини, переходять до вирощування циліндричної частини монокристалу і закінчують процес вирощування нижнього конуса й охолодженням вирощеного монокристалу. Одержання монокристалів кремнію з заданим діаметром його циліндричної частини є важливим моментом процесу вирощування, тому що безпосередньо зв'язано з виходом придатної продукції. Якщо діаметр циліндричної частини монокристалу виявиться менше заданого, то весь монокристал або його частина з діаметром менше заданого бракується за діаметром, якщо зазначений діаметр більше заданого, то це приводить до зменшення можливої довжини вирощуваного монокристалу і до збільшення безповоротних утрат кремнію при калібруванні циліндричної частини монокристалу до заданого діаметра. Тому при вирощуванні монокристалу потрібно забезпечити максимально можливу точність одержання і підтримки заданого діаметра його циліндричної частини.

Найбільш близьким до пропонованого способу є спосіб контролю діаметра монокристалів кремнію, вирощуваного з розплаву [А.Я. Нашельский. Технология специальных материалов электронной техники - 1993, С. 162 – 164]. Відомий спосіб включає регулювання швидкісних і температурних параметрів процесу вирощування за допомогою системи автоматичного регулювання діаметра, що має у своєму складі оптичний датчик з чутливим елементом, за допомогою якого реєструють випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристаліній області вирощуваного монокристалу, і візуальне визначення моменту виходу на циліндричну частину вирощуваного монокристалу. При цьому оптична вісь датчика розташована у площині, що проходить через вісь вирощуваного монокристалу кремнію.

Однак відомий спосіб не виключає можливість одержання монокристалу з діаметром його циліндричної частини як більше, так і менше заданого, тому що оцінка діаметра розрощування конусної частини монокристалу і виходу на його циліндричну частину здійснюється візуально.

Крім того, відомий спосіб не забезпечує високу точність підтримки діаметра по всій довжині циліндричної частини вирощуваного монокристалу.

Задачею винаходу є удосконалення способу контролю діаметра монокристалів кремнію, вирощуваного з розплаву, у якому за рахунок виставлення початкового рівня розплаву, виходу на циліндричну частину монокристалу за показниками оптичного датчика системи автоматичного регу-

лювання, розташованого певним чином, і реєстрування випромінювання від більш широкої частини меніска стовпчика розплаву в підкристаліній області вирощуваного монокристалу забезпечуються відсутність браку за діаметром і збільшення точності підтримки заданого діаметра монокристалу в процесі його вирощування.

Поставлена задача вирішується запропонованим способом контролю діаметра монокристалів кремнію, вирощуваного з розплаву, що включає регулювання температурних і швидкісних параметрів процесу вирощування за допомогою системи автоматичного регулювання діаметра, що має у своєму складі оптичний датчик з чутливим елементом, за допомогою якого реєструють випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристаліній області, і визначення моменту виходу на циліндричну частину вирощуваного монокристалу, у якому оптичну вісь датчика розташовують похило до площини, що проходить через вісь вирощуваного монокристалу, момент виходу на циліндричну частину вирощуваного монокристалу визначають у залежності від зафіксованого на вимірювальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання меніска стовпчика розплаву в підкристаліній області вирощеного попередньо монокристалу порівняння при виході на його циліндричну частину, і при цьому додатково встановлюють початкове положення рівня розплаву вирощуваного монокристалу шляхом суміщення випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристаліній області затравки вирощуваного монокристалу з зафіксованим на вимірювальній шкалі оптичного датчика положенням випромінювання від меніска стовпчика розплаву затравки при вирощуванні зазначеного монокристалу порівняння. Початкове положення рівня розплаву встановлюють шляхом переміщення тигля. Кут нахилу оптичної осі датчика до зазначеної площини становить 5-20°.

При цьому, при вирощуванні монокристалів кремнію з заданим діаметром, що рівний діаметру вирощеного попередньо монокристалу порівняння, момент виходу на циліндричну частину здійснюють при суміщенні випромінювання від меніска стовпчика розплаву вирощуваного монокристалу з зафіксованим на вимірювальній шкалі положенням випромінювання від меніска стовпчика розплаву монокристалу порівняння, що відповідає моменту виходу на його циліндричну частину.

При вирощуванні монокристалів кремнію з заданим діаметром, що відрізняється від діаметра вирощеного попередньо монокристалу порівняння, момент виходу на циліндричну частину визначають по формулі

$$Y_3 = \frac{(Y_c - Y_0) \cdot D_3}{D_c} + Y_0$$

де Y_3 - потрібне положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву вирощуваного монокристалу на вимірювальній шкалі оптичного датчика, що відповідає моменту виходу на заданий діаметр його циліндричної частини, мм,

Y_C - зафіксоване на вимірвальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву монокристала порівняння, що відповідає моменту виходу на його циліндричну частину, мм,

Y_0 - зафіксоване на вимірвальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання меніска стовпчика розплаву затравки, що відповідає початковому рівню розплаву, мм,

D_3 - заданий діаметр циліндричної частини вирощуваного монокристала, мм,

D_C - фактичний діаметр циліндричної частини монокристала порівняння, мм

Експериментально авторами було встановлено, що при встановленні оптичної осі датчика похило з утворенням кута $5 - 20^\circ$ із площиною, що проходить через вісь вирощуваного монокристала, раніше не видиме випромінювання від меніска стовпчика розплаву затравки попадає на вимірвальну шкалу оптичного датчика, що дозволяє зафіксувати початкове положення рівня розплаву на стадії затравлення. Якщо на наступних процесах вирощування шляхом переміщення тигля з розплавом сполучити на вимірвальній шкалі оптичного датчика випромінювання від меніска затравки з зафіксованим положенням випромінювання меніска затравки при вирощуванні монокристала порівняння, то можна встановлювати початкове положення рівня розплаву будь-якого наступного процесу вирощування таким же, яким воно було при вирощуванні монокристала порівняння. Таким чином, у пропонуваному способі контролю початкове положення рівня розплаву процесів вирощування вже не залежить від зміни маси завантаження, коливань геометричних розмірів тигля, його деформації при плавленні завантаження й інших умов. У цьому випадку, якщо на вимірвальній шкалі оптичного датчика зафіксувати положення випромінювання меніска стовпчика розплаву вирощуваного монокристала порівняння в момент виходу на його циліндричну частину, то при вирощуванні наступних монокристалів за вимірвальною шкалою оптичного датчика можна визначити потрібне положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву в момент виходу на заданий діаметр циліндричної частини вирощуваного монокристала. При цьому, зафіксовані початкове положення рівня розплаву і положення випромінювання меніска при виході на один визначений діаметр вирощуваного монокристала дають змогу розрахувати і необхідне положення на вимірвальній шкалі оптичного датчика випромінювання від меніска вирощуваного монокристала іншого заданого діаметра. Таким чином, запропонований винахід дозволяє від візуального визначення виходу на заданий діаметр перейти до його визначення за показниками оптичного датчика, що істотно підвищує точність виходу на заданий діаметр циліндричної частини вирощуваного монокристала. Крім цього, при нахилі оптичної осі датчика до заданої площини ширина випромінюючого меніска стовпчика розплаву, що реєструється чутливим елементом, виявляється більше, ніж у відомому способі, коли чутливим елементом реєструється випромінювання від меніска стовпчика

розплаву в підкристальній області в точці, що знаходиться в площині, яка проходить через вісь вирощуваного монокристала кремнію і чутливий елемент. За рахунок цього підвищується точність підтримки системою автоматичного регулювання заданого діаметра на всій довжині циліндричної частини вирощуваного монокристала.

Спосіб здійснюється таким чином

Контроль діаметра вирощуваного монокристала кремнію здійснюють шляхом регулювання температурних і швидкісних параметрів процесу вирощування за допомогою системи автоматичного регулювання діаметра, що має у своєму складі оптичний датчик з чутливим елементом, за допомогою якого реєструють випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристальній області. При цьому, на каретку оптичного датчика, по якій переміщається чутливий елемент, наклеюють вимірвальну шкалу, а датчик нахилиють таким чином, що його оптична вісь знаходилась під кутом $5 - 20^\circ$ до площини, що проходить через вісь вирощуваного монокристала. У цьому випадку вже на стадії затравлення на вимірвальну шкалу оптичного датчика попадає випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристальній області затравки.

При вирощуванні монокристала порівняння на вимірвальній шкалі оптичного датчика фіксують положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристальній області затравки, що відповідає початковому положенню рівня розплаву (Y_0), а також положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву і відповідне йому положення чутливого елемента на вимірвальній шкалі оптичного датчика в момент виходу на його циліндричну частину (Y_C). Після вирощування монокристала порівняння вимірюють фактичний діаметр циліндричної частини монокристала (D_C).

При наступному вирощуванні монокристала з заданим діаметром циліндричної його частини (D_3) установлюють початкове положення рівня розплаву по зафіксованому на вимірвальній шкалі оптичного датчика положенню випромінювання від меніска стовпчика розплаву на стадії затравлення зазначеного процесу вирощування монокристала порівняння – Y_0 . Суміщення випромінювання від меніска стовпчика розплаву на стадії затравлення вирощуваного монокристала з Y_0 здійснюють переміщенням тигля.

Момент виходу на циліндричну частину вирощуваного монокристала визначають у залежності від зафіксованого на вимірвальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання меніска від стовпчика розплаву в підкристальній області зазначеного монокристала порівняння при виході на його циліндричну частину – Y_C .

Якщо заданий діаметр вирощуваного монокристала збігається з фактичним діаметром монокристала порівняння, тобто $D_3 = D_C$, то вихід на циліндричну частину вирощуваного монокристала здійснюють при суміщенні випромінювання від меніска стовпчика розплаву вирощуваного монокристала з Y_C - зафіксованим на вимірвальній шкалі положенням випромінювання від меніска стовпчика розплаву монокристала порівняння.

Якщо заданий діаметр вирощуваного монокристалу відрізняється від фактичного діаметра монокристалу порівняння ($D_3 \neq D_C$), то необхідне положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву верхнього конуса вирощуваного монокристалу на вимірковальній шкалі оптичного датчика визначають за отриманою експериментальним шляхом формулою

$$Y_3 = \frac{(Y_C - Y_0) \times D_3}{D_C} + Y_0$$

де Y_3 - потрібне положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву вирощуваного монокристалу на вимірковальній шкалі оптичного датчика, що відповідає моменту виходу на заданий діаметр його циліндричної частини, мм,

Y_C - зафіксоване на вимірковальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву монокристалу порівняння, що відповідає моменту виходу на його циліндричну частину, мм,

Y_0 - зафіксоване на вимірковальній шкалі оптичного датчика положення випромінювання меніска стовпчика розплаву затравки, що відповідає початковому рівню розплаву, мм,

D_3 - заданий діаметр циліндричної частини вирощуваного монокристалу, мм,

D_C - фактичний діаметр циліндричної частини монокристалу порівняння, мм

Приклад 1

Оптичну вісь датчика печі «Редмет-30» розташовують похило до площини, що проходить через вісь вирощуваного монокристалу, кут нахилу 7°

При вирощуванні монокристалу порівняння на вимірковальній шкалі оптичного датчика фіксують положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву в підкристалній області затравки, що відповідає початковому положенню рівня розплаву, $Y_0 = 11,5$ мм, а також положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву і відповідне йому положення чутливого елемента на вимірковальній шкалі оптичного датчика в момент виходу на його циліндричну частину, $Y_C = 42$ мм. Фактичний діаметр циліндричної частини монокристалу порівняння $D_C = 153$ мм.

Наступне вирощування монокристалів із заданим діаметром циліндричної частини $D_3 = 153$ мм проводять таким чином

На стадії затравлення, шляхом переміщення тигля з розплавом суміщають на вимірковальній шкалі оптичного датчика випромінювання від меніска затравки вирощуваного монокристалу з зафіксованим положенням випромінювання меніска затравки при вирощуванні монокристалу порівняння, тобто на значенні 11,5 мм. Таким чином установлюють початкове положення рівня розплаву таке ж, яким воно було при вирощуванні монокристалу порівняння. Чутливий елемент переміщують по каретці оптичного датчика до встановлення його в положення 42 мм. Вихід на циліндричну частину вирощуваного монокристалу здійснюють при досягненні випромінюванням меніска стовпчика розплаву в підкристалній області вирощуваного верхнього конуса встановленого положення чутливого елемента оптичного датчика, що відповідає зафіксованому положен-

ню випромінювання меніска стовпчика розплаву в момент виходу на діаметр монокристалу порівняння

Діаметр циліндричної частини вирощеного монокристалу $D = 153$, тобто D_3 . Максимальне відхилення від заданого діаметра по довжині циліндричної частини монокристалу $\pm 2,0$ мм.

Аналогічно було отримано 14 монокристалів кремнію, діаметр у місці переходу від верхнього конуса до циліндричної частини кожного з монокристалів знаходиться в діапазоні 153 - 155 мм. Браку за діаметром по всій довжині циліндричної частини монокристалів немає. Максимальне відхилення від фактичного діаметра по довжині циліндричної частини монокристалу $\pm 2,0$ мм.

Приклад 2

Вирощування монокристалу порівняння здійснюють, як описано в прикладі 1.

Потрібно перейти до вирощування монокристалів із заданим діаметром циліндричної частини $D_3 = 138$ мм.

Вирощування монокристалів проводять таким чином

На стадії затравлення, шляхом переміщення тигля з розплавом суміщають на вимірковальній шкалі оптичного датчика випромінювання від меніска затравки вирощуваного монокристалу з Y_0 - зафіксованим положенням випромінювання меніска затравки при вирощуванні монокристалу порівняння, тобто на значенні 11,5 мм. Таким чином установлюють початкове положення рівня розплаву таке ж, яким воно було при вирощуванні монокристалу порівняння.

Розраховують необхідне для одержання заданого діаметра циліндричної частини вирощуваного монокристалу 138 мм положення випромінювання від меніска стовпчика розплаву на вимірковальній шкалі оптичного датчика за формулою

$$Y_3 = (Y_C - Y_0) \times D_3 / D_C + Y_0 = (42 - 11,5) \times 138 / 153 + 11,5 = 39,0$$

Чутливий елемент переміщують по каретці оптичного датчика до установлення його в положення 39 мм. Вихід на циліндричну частину вирощуваного монокристалу здійснюють при досягненні випромінюванням меніска вирощуваного верхнього конуса розрахованого за формулою встановленого положення чутливого елемента оптичного датчика, що відповідає розрахованому положенню випромінювання меніска стовпчика розплаву в момент виходу на діаметр монокристалу з заданим діаметром його циліндричної частини.

Діаметр циліндричної частини вирощеного монокристалу $D = 138$, тобто D_3 . Максимальне відхилення від заданого діаметра по довжині циліндричної частини монокристалу $\pm 2,0$ мм.

Аналогічно було отримано 9 монокристалів кремнію, діаметр циліндричної частини в місці переходу від верхнього конуса до циліндричної частини кожного з монокристалів знаходиться в діапазоні 137 - 139 мм. Браку за діаметром по всій довжині циліндричної частини монокристалів немає. Максимальне відхилення від фактичного діаметра по довжині циліндричної частини монокристалів $\pm 2,0$ мм.

Таким чином, запропонований винахід дозволяє

перейти від візуального визначення діаметра вирощуваного монокристала до його виміру за показниками вимірювальної шкали оптичного датчика, що забезпечує можливість усунення браку за діаметром в момент виходу на циліндричну частину вирощуваного монокристала,

зменшити імовірність одержання браку за діаметром при вирощуванні циліндричної частини

за рахунок підвищення точності підтримки системою автоматичного регулювання заданого діаметра на всій довжині циліндричної частини вирощуваного монокристала, підвищити вихід придатної продукції за рахунок збільшення можливої довжини вирощуваного монокристала і зменшення безповоротних утрат кремнію при калібруванні циліндричної частини монокристала до заданого діаметра

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71