

Винахід відноситься до області одержання монокристалів напівпровідникових матеріалів і може бути використаний при вирощуванні монокристала кремнію з розплаву за методом Чохральського.

При вирощуванні монокристала кремнію з поверхні розплаву випаровується монооксид кремнію, що може осідати на стінках тигля й інших деталях устаткування камери вирощування монокристала. У процесі вирощування можливе відшаровування осаджених часток монооксида кремнію і попадання їх до розплаву. Потрапляючи на фронт кристалізації, такі частки стають причинами утворення дислокацій у зростаючому монокристалі і появи двійників. Для видалення монооксида кремнію з камери вирощування монокристала над розплавом формують потік інертного газу, в основному аргону.

Підвищення такого важливого показника якості монокристала кремнію як час життя нерівноважних носіїв заряду ($\tau_{н.н.з.}$) досягається при підвищенні швидкості вирощування монокристала з розплаву. Для створення теплових умов, що відповідають підвищеній швидкості вирощування, використовують додаткове екранування вирощуваного зливка. Крім теплових умов додатково екранування у виді екрана, розташованого безпосередньо над розплавом, також впливає на формування газового потоку.

Найбільш близьким є спосіб вирощування монокристала кремнію з розплаву, що включає формування газового потоку над розплавом у присутності екрана, що розташований над площиною розплаву співвісно вирощуваному монокристалу кремнію (JP, заявка №2-31040, М.кл. C30B15/14, H01L21/208, опубл. 11.07.90) [1]. У відомому способі використовують екран, що має форму переверненого усіченого конуса. Отвір нижньої частини екрана розташовано поблизу розплаву, а верхня частина екрана вигнута у виді трикутника або дуги. Екран у виді кільця закриває тигель на ділянці від зливка до країв тигля.

Однак, на похилих стінках екрана часто конденсуються монооксид кремнію, що випаровується, і леткі легуючі домішки, наприклад, пари стибію. Потрапляючи до розплаву частки приводять до обривності вирощуваного зливка і, отже, до зниження продуктивності одержання монокристалів. Особливо знижується продуктивність при необхідності вирощування монокристала іншого діаметра, тому що при цьому змінюються динамічні характеристики газового потоку і це приводить до необхідності розробки іншого екрана.

Задачею винаходу є удосконалення способу вирощування монокристала кремнію з розплаву, у якому за рахунок використання циліндричного екрана визначеного діаметра і запропонованого регулювання його розміщення над розплавом забезпечується формування оптимальної динаміки газового потоку над розплавом, що приводить до відсутності осадження монооксида кремнію, що випаровується, і легких домішок. Крім того, використання циліндричного екрана визначеного діаметра і запропоноване регулювання його розміщення над розплавом дозволяє формувати оптимальний газовий потік над розплавом при зміні діаметра вирощуваного монокристала. Зазначені переваги приводять до підвищення продуктивності вирощування монокристалів кремнію.

Поставлена задача вирішується запропонованим способом вирощування монокристала кремнію з розплаву, що включає формування газового потоку над розплавом у присутності екрана, розташованого над площиною розплаву співвісно вирощуваному монокристалу кремнію, у якому використовують циліндричний екран, нижній відкритий кінець якого розміщують над площиною розплаву на висоті, що розрахована за формулою:

$$h=(A-D)/B,$$

де h - висота розміщення нижнього кінця екрана над рівнем розплаву, мм,

D - заданий діаметр вирощуваного зливка монокристала кремнію, що знаходиться в межах 75-150мм,

A - розмірний коефіцієнт, що знаходиться в межах 210-240,

B - коефіцієнт, що знаходиться в межах 4,6-5,0, і при цьому діаметр циліндричного екрана дорівнює 235-245мм.

Нами експериментально були знайдені умови для видалення монооксида кремнію й інших летких домішок з камери вирощування монокристала, при яких не змінюючи витрату інертного газу і тиск у камері досягається оптимальне співвідношення газового потоку й опір цьому потоку. Це співвідношення залежить від розміщення екрана над рівнем розплаву і від відстані між екраном і вирощуваним зливком. Установлена залежність між висотою розміщення циліндричного екрана і діаметром зливка для створення оптимального газового потоку, а саме для підтримки постійного парціального тиску монооксида кремнію над поверхнею розплаву і швидкості потоку аргону, приводить до підвищення продуктивності вирощування монокристалів як за рахунок відсутності осадження монооксида кремнію й інших домішок і попадання їх до розплаву, що може привести до порушення бездислокаційного росту монокристала, так і за рахунок спрощення процесу, тому що при зміні діаметра вирощуваного зливка досить у відповідності з визначеною залежністю підняти або опустити екран над поверхнею розплаву для встановлення оптимальної динаміки газового потоку.

Винахід пояснюється малюнком, де на Фіг. схематично представлений загальний вид камери вирощування монокристала кремнію.

На Фіг. зображено: монокристал кремнію 1, що витягається з розплаву 2, кварцовий тигель 3, графітовий тигель 4, циліндричний екран 5, кільце 6, бічний екран 7, нагрівач 8.

Спосіб реалізується таким чином.

Перед початком процесу вирощування відповідно до формули розраховують величину необхідного зазору h між положенням рівня розплаву при вирощуванні і нижньою частиною циліндричного екрана 5:

$$h=(A-D)/B,$$

де:

D - заданий діаметр вирощуваного монокристала кремнію 1,

A - розрахунковий коефіцієнт, що знаходиться в межах 210-240,

B - коефіцієнт, що знаходиться в межах 4,6-5,0.

Кварцовий тигель 3, завантажений полікристалічним кремнієм і необхідною кількістю лігатури, розміщують у графітовому тиглі 4 теплового вузла камери вирощування, що включає також нагрівач 8 і бічний екран 7. За допомогою кільця 6 установлюють циліндричний екран 5 з розрахованою величиною зазору. Здійснюють герметизацію камери, установлюють подачу і відвід інертного газу (аргону) з витратою 15-20л/хв. Після

розплавлення завантаження встановлюють початкове положення рівня розплаву зі збереженням розрахованого зазору h між розплавом і нижньою частиною циліндричного екрана шляхом переміщення тигля. За допомогою вакуумного вентиля встановлюють і підтримують тиск у камері 5-7мм.рт.ст.

До розплаву 2 опускають затравку і починають процес вирощування монокристалу 1 при оптимальному газовому потоці над розплавом у присутності екрана. Початкова швидкість вирощування монокристалу в залежності від його діаметра коливається в межах 1,2-1,6мм/хв.

У процесі вирощування не спостерігаються осадження монооксида кремнію і летких домішок, що випаровуються з розплаву 2, на циліндричному екрані й інших деталях устаткування камери вирощування; відсутнє попадання цих часток до розплаву, що приводить до одержання бездефектних зливків монокристалу.

Забезпечення вирощування бездефектних монокристалів кремнію і спрощення процесу вирощування при необхідності одержання монокристалів іншого діаметра приводить до підвищення продуктивності вирощування монокристалів кремнію на 15 -20%.

Приклад 1.

При вирощуванні монокристалу кремнію з заданим діаметром 75мм у його циліндричній частині перед початком процесу вирощування відповідно до формули розраховують величину необхідного зазору h між положенням рівня розплаву при вирощуванні і нижньою частиною циліндричного екрана 5:

$$h=(230-75)/4,6=33,6\text{мм},$$

де:

$D=75$ мм, - заданий діаметр вирощуваного зливка монокристалу кремнію;

$A=230$, - розмірний коефіцієнт;

$B=4,6$, коефіцієнт.

Кварцовий тигель 3, завантажений полікристалічним кремнієм (маса завантаження 22кг) і необхідною кількістю лігатури, розміщують у графітовому тиглі 4 теплового вузла камери вирощування, що включає також нагрівач 8 і бічний екран 7. За допомогою кільця 6 циліндричний екран 5 діаметром 240мм встановлюють з розрахованою величиною зазору h . Здійснюють герметизацію камери, встановлюють подачу і відвід інертного газу (аргону) з витратою 15л/хв. Після розплавлення завантаження встановлюють початкове положення рівня розплаву з величиною зазору $h=33,6$ мм між розплавом і нижньою частиною циліндричного екрана шляхом переміщення тигля. За допомогою вакуумного вентиля встановлюють і підтримують тиск у камері 5-7мм.рт.ст.

До розплаву 2 опускають затравку і починають процес вирощування монокристалу 1 при оптимальному газовому потоці над розплавом у присутності циліндричного екрана. Початкова швидкість вирощування монокристалу - 1,6мм/хв.

У процесі вирощування не спостерігаються осадження монооксида кремнію і летких домішок, що випаровуються з розплаву 2, на циліндричному екрані й інших деталях устаткування камери вирощування; відсутнє попадання цих часток у розплав.

Отримано бездефектний зливочок монокристалу кремнію з такими характеристиками: довжина бездислокаційної частини монокристалу - 1600мм, середній діаметр монокристалу - 80мм. Вихід придатної продукції - 72,3%

Приклад 2.

При вирощуванні монокристалу кремнію з заданим діаметром 135мм у його циліндричній частині перед початком процесу вирощування відповідно до формули розраховують величину необхідного зазору h між положенням рівня розплаву при вирощуванні і нижньою частиною циліндричного екрана 5:

$$h=(220-135)/4,8=17,7\text{мм},$$

де:

$D=135$ мм, - заданий діаметр вирощуваного зливка монокристалу кремнію;

$A=220$, - розмірний коефіцієнт;

$B=4,8$, коефіцієнт.

Кварцовий тигель 3, завантажений полікристалічним кремнієм (маса завантаження - 32кг) і необхідною кількістю лігатури, розміщують у графітовому тиглі 4 теплового вузла камери вирощування, що включає також нагрівач 8 і бічний екран 7. За допомогою кільця 6 циліндричний екран 5 діаметром 240мм встановлюють з розрахованою величиною зазору h . Здійснюють герметизацію камери, встановлюють подачу і відвід інертного газу (аргону) з витратою 17л/хв. Після розплавлення завантаження встановлюють початкове положення рівня розплаву з розрахованою величиною зазору $h=17,7$ мм між розплавом і нижньою частиною циліндричного екрана шляхом переміщення тигля. За допомогою вакуумного вентиля встановлюють і підтримують тиск у камері 5-7мм.рт.ст.

До розплаву 2 опускають затравку і починають процес вирощування монокристалу 1 при оптимальному газовому потоці над розплавом у присутності циліндричного екрана. Початкова швидкість вирощування монокристалу - 1,4мм/хв.

У процесі вирощування не спостерігаються осадження монооксида кремнію і летких домішок, що випаровуються з розплаву 2, на циліндричному екрані й інших деталях устаткування камери вирощування; відсутнє попадання цих часток до розплаву.

Отримано бездефектний зливочок монокристалу кремнію з такими характеристиками: довжина бездислокаційної частини монокристалу - 760мм, середній діаметр монокристалу - 139мм. Вихід придатної продукції - 74,5% .

Приклад 3.

При вирощуванні монокристалу кремнію з заданим діаметром 150мм у його циліндричній частині перед початком процесу вирощування відповідно до формули розраховують величину необхідного зазору h між положенням рівня розплаву при вирощуванні і нижньою частиною циліндричного екрана 5:

$$h=(215-150)/4,9=13,2\text{мм},$$

де:

$D=150\text{мм}$, - заданий діаметр вирощуваного зливка монокристала кремнію;
 $A=215$, - розмірний коефіцієнт;
 $B=4,9$, коефіцієнт.

Кварцовий тигель 3, завантажений полікристалічним кремнієм (маса завантаження 35кг) і необхідною кількістю лігатури, розміщують у графітовому тиглі 4 теплового вузла камери вирощування, що включає також нагрівач 8 і бічний екран 7. За допомогою кільця 6 циліндричний екран 5 діаметром 245мм установлюють з розрахованою величиною зазору h . Здійснюють герметизацію камери, установлюють подачу і відвід інертного газу (аргону) з витратою 20л/хв. Після розплавлювання завантаження встановлюють початкове положення рівня розплаву з величиною зазору $h=13,2\text{мм}$ між розплавом і нижньою частиною циліндричного екрана шляхом переміщення тигля. За допомогою вакуумного вентиля встановлюють і підтримують тиск у камері 5-7мм.рт.ст.

До розплаву 2 опускають затравку і починають процес вирощування монокристала 1 при оптимальному газовому потоці над розплавом у присутності циліндричного екрана. Початкова швидкість вирощування монокристала - 1,3мм/хв.

У процесі вирощування не спостерігаються осадження монооксида кремнію і летких домішок, що випаровуються з розплаву 2, на циліндричному екрані й інших деталях устаткування камери вирощування; відсутнє попадання цих часток до розплаву.

Отримано бездефектний зливочок монокристала кремнію з такими характеристиками: довжина бездислокаційної частини монокристала - 700мм, середній діаметр монокристала - 154мм. Вихід придатної продукції - 77,4%.

Таким чином, запропонований винахід за рахунок використання циліндричного екрана визначеного діаметра і запропонованого регулювання його розміщення над розплавом забезпечує формування оптимальної динаміки газового потоку над розплавом, що приводить до відсутності осадження монооксида кремнію і летких домішок, що випаровуються, і, крім того, до спрощення формування оптимального газового потоку над розплавом при зміні діаметра вирощуваного монокристала. Зазначені переваги дозволяють підвищити продуктивність вирощування монокристалів кремнію на 15-20%.

