

УДК 669.295

Е.А. Голев, аспирант

И.Ф. Червоний, зав. кафедрой, профессор, д.т.н.

ВЛИЯНИЕ ОТВОДА ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ ИЗ КАМЕРЫ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ГРАФИТОВОЙ ОСНАСТКИ

Запорожская государственная инженерная академия

Розглянуто вплив місця відводу парогазової суміші з камери вирощування монокристалів кремнію за методом Чохральського на надійність графітового оснащення. У результаті аналізу результатів виконаних експериментів встановлено, що змінювання місця розміщення вакуумного відводу в камері вирощування сприяє підвищенню терміну служби нагрівача та стійкості графітового оснащення, а також якості вирощуваних монокристалів.

Ключові слова: кремній, монокристал, вирощування, метод Чохральського, тепловий вузол, аргон, домішки

Рассмотрено влияние места отвода парогазовой смеси из камеры выращивания монокристаллов кремния по методу Чохральского на надежность графитовой оснастки. В результате анализа результатов выполненных экспериментов установлено, что изменение места размещения вакуумного отвода в камере выращивания способствует повышению срока службы нагревателя и стойкости графитовой оснастки, а также качества выращиваемых монокристаллов.

Ключевые слова: кремний, монокристалл, выращивание, метод Чохральского, тепловой узел, аргон, примеси

The influence of place to gas-vapor mixture from the chamber of growing silicon single crystals by Czochralskij method on the reliability of graphite equipment has been given. The analysis results of the fulfilled experiments shows that the placement of the vacuum discharge in chamber growing renders influence on resistance of the graphite tooling and the quality of the grown single crystals.

Key words: silicon, single crystal, growing, Czochralskij method, furnace, argon, admixtures

Введение. Монокристаллический кремний является основным материалом для изготовления приборов силовой электроники: мощных диодов, тиристоров, транзисторов, интегральных схем, которые применяются при передаче электроэнергии на большие расстояния, в энергоемких производствах, например, в металлургическом и химическом, а также в системах электропитания агрегатов [1].

Выращивание монокристаллов кремния выполняют методом Чохральского из кварцевого тигля с использованием специального теплового узла, (рис. 1), состоящего из графитовых нагревателя и экранировки [2,3].

При выращивании монокристаллов в среде аргона происходит образование парогазовой смеси монооксида кремния SiO , аргона и монооксида углерода CO , а также других летучих примесей, находящихся в расплаве кремния [1].

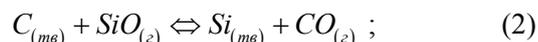
Источником кислорода в монокристаллах кремния считается кварцевый тигель, стенки которого контактируют с расплавом кремния в процессе выращивания с образованием атомарного кислорода, переходящего в кристаллизующийся монокристалл [4]. Интенсивность растворения тигля и перехода кислорода в расплав находится в прямо про-

порциональной зависимости от площади соприкосновения расплава и тигля 2, а также зависит от состояния его внутренней поверхности [4].

Растворение кварца в расплаве кремния происходит с образованием его монооксида SiO по реакции:

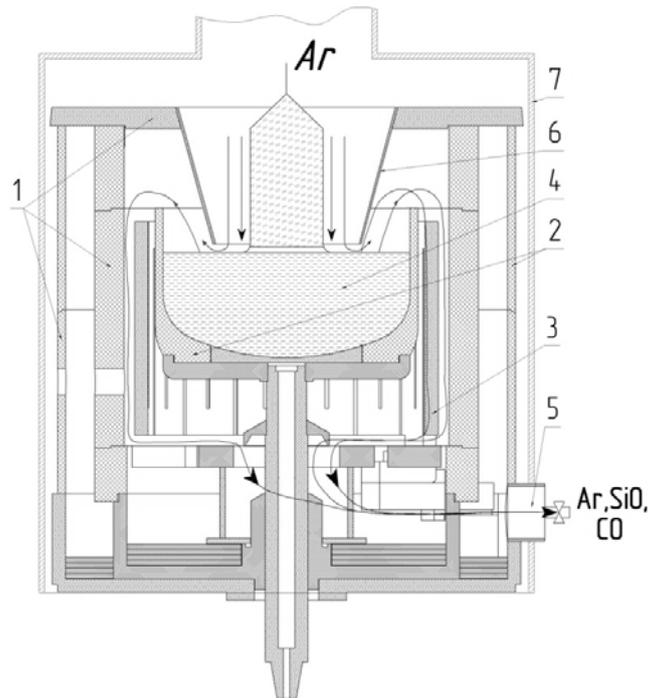


В результате химической реакции между монооксидом кремния SiO и графитовыми элементами оснастки печи образуются монооксид углерода CO [2], карбид кремния SiC и свободный кремний Si .



Основным источником углерода в выращиваемых кристаллах служит монооксид углерода CO , который образуется в результате взаимодействия монооксида кремния, по реакции (2), с графитом элементов нагревателя, подставки для тигля и графитовой экранировки, применяемой для создания оптимальных тепловых условий выращивания [3]. Монооксид углерода CO образуется также в результате взаимодействия кислорода, поступающего внутрь камеры через уплотнения из окружающей

среды, и графита элементов нагревателя и экранировки.



1 - экранировка; 2 - тигель и подставка; 3 - нагреватель; 4 - кремниевый расплав; 5 - отвод парогазовой смеси; 6 - колодец; 7 - камера (корпус) печи

Рисунок 1 – Тепловой узел печи «Редмет» с нижним вакуумным отводом

Образовавшийся углерод поступает в область кристаллизации кремния и в виде примеси кристаллизуется вместе с кремнием.

При кристаллизации происходит насыщение выращиваемого монокристалла кремния примесями и образование в нем дефектов, что влечет за собой снижение его качественных характеристик.

Как видно из рис. 1, эвакуация газового потока выполнена в нижней части камеры, ниже элементов теплового узла. Отходящая от расплава парогазовая смесь, состоящая из монооксида кремния, аргона и оксида углерода, направляется через горячие (с температурой 800...1500 °С) элементы теплового узла, при этом агрессивные парогазовые потоки вступают во взаимодействие с графитовыми элементами узла и приводят к загрязнению атмосферы камеры для выращивания монокристаллов.

Такая ситуация требует после завершения операции выращивания монокристаллов выполнения чистки установки и графитовой оснастки, а перед последующим проведением данного процесса – дегазации элементов теплового узла [1].

Постановка задачи. Задачей данной работы является изучение влияния места расположения отвода парогазовой смеси из камеры выращивания монокристаллов на надежность графитового нагревателя и оснастки теплового узла.

Основная часть исследований. В процессе экспериментов нами было установлено, что степень

изменения геометрии графитового нагревателя (утончение составляющих нагревателя) увеличивается с возрастанием количества технологических процессов выращивания монокристаллов. Как следствие, это сопровождается изменением величины электрического сопротивления нагревателя и, соответственно его тепловых характеристик. Изменение электрического сопротивления R элементов нагревателя оценивается зависимостью

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}, \quad (4)$$

где ρ – сопротивление материала нагревателя, Ом, ℓ , S – длина, мм, и площадь поперечного сечения, мм², нагревателя соответственно.

Увеличение электрического сопротивления элементов нагревателя оказывает существенное влияние на мощность P , потребляемую нагревателем для создания необходимой температуры в зоне кристаллизации монокристалла.

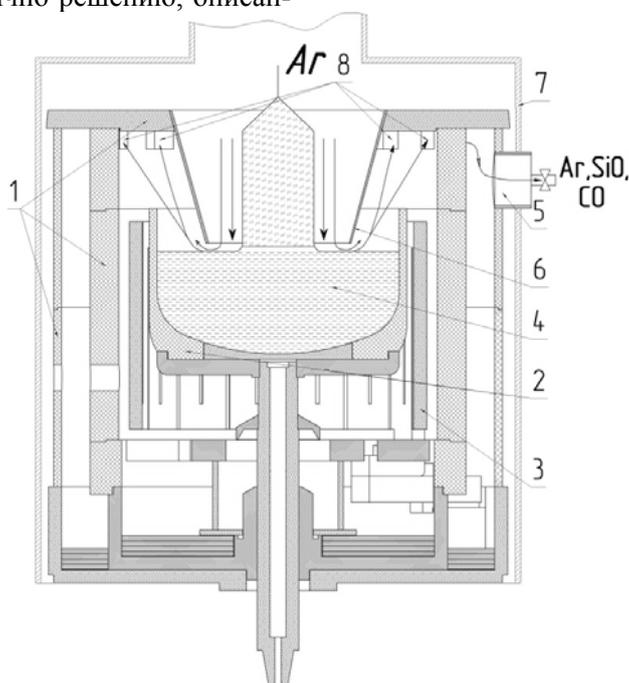
$$P = I^2 \cdot R, \quad (5)$$

где I – ток, подаваемый на нагреватель, А.

В связи с этим для поддержания постоянной величины мощности необходимо снижать величину тока. Это приводит к росту напряжения и увеличением нагрузки на питающий трансформатор, что сопровождается его выходом из нормального режима работы и нарушением технологических режимов выращивания монокристаллов.

Для устранения нарушения геометрических и электрических характеристик теплового узла нами опробовано изменение положения места отвода парогазовой смеси из камеры выращивания монокристаллов путем его переноса из нижней части камеры в область, расположенную на уровне крышки теплового узла, аналогично решению, описан-

ному в работе [7] (рис. 2). Такое расположение места отвода газа обеспечивает изменение направления течения потока парогазовой смеси и значительное сокращение его участия в реакциях с материалом теплового узла.



1 - экранировка; 2 - тигель и подставка; 3 - нагреватель; 4 - кремниевый расплав; 5 - отвод парогазовой смеси; 6 - колодец; 7 - камера (корпус) печи; 8 - прорезы для отвода парогазовой смеси

Рисунок 2 – Тепловой узел печи «Редмет» с верхним вакуумным отводом

Подача аргона к расплаву в камере выращивания монокристалла через колодец (рис. 2) обеспечивает вывод парогазовой смеси, образующейся в результате взаимодействия расплава кремния с кварцевым тиглем 2 и нагревателем 3. Для эффек-

тивного вывода парогазовой смеси в боковом экране колодца выполнены специальные прорезы 8.

На рис. 3 и 4 представлены зависимости износа и общего сопротивления графитового нагревателя от количества технологических процессов выращивания.

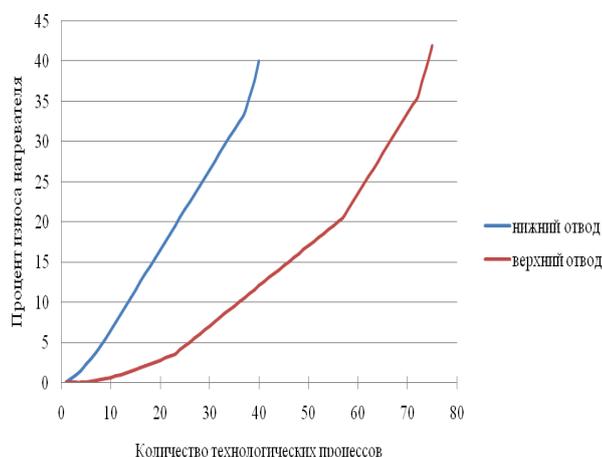


Рисунок 3 – Зависимость износа нагревателя от количества процессов

Как видно из рисунков, изменение места отвода парогазовой смеси из камеры выращивания мо-

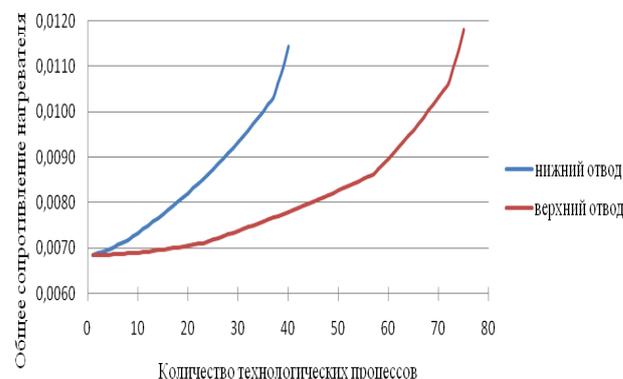


Рисунок 4 – Зависимость изменения сопротивления нагревателя от количества процессов

нокристаллов значительно повышает ресурс работы графитового нагревателя (рис. 3), при этом длительное время сохраняется его электрическое соп-

ротивление (рис. 4), что обеспечивает постоянство технологических режимов выращивания и воспроизводимость электрофизических характеристик монокристаллов.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволили установить, что изменение расположения места отвода парогазовой смеси из камеры

выращивания монокристалла кремния способствует повышению срока службы графитового нагревателя и сохранения его электрического сопротивления. При этом показана возможность сохранения постоянства технологических режимов выращивания монокристаллов.

Библиографический список

1. **Фалькевич, Э. С.** Технология полупроводникового кремния [Текст]: монография / Э. С. Фалькевич, Э. О. Пульнер, И. Ф. Червоный и др.; под ред. Э. С. Фалькевича. – М. : Металлургия, 1992. – 408 с. – Библиогр.: с. 399-407. – 1170 экз. – ISBN 5-229-00740-0.
2. H. Föll Silicon Crystal Growth and Wafer Production Single Crystal Growth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/elmat_en/kap_6/backbone/r6_1_2.html.
3. **Stefano, Meroli.** Two growth techniques for mono-crystalline silicon: Czochralski vs Float Zone. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://meroli.web.cern.ch/meroli/Lecture_silicon_floatzone_czochralski.html.
4. **Бабич, В. М.** Кисень в монокристаллах кремнію [Текст] / В. М. Бабич, Н. И. Блецкан, Е. Ф. Венгер. – Київ : Интерпрес ЛТД, 1997. – 239 с. – Библиогр.: с. 223-239. – 1000 прим. – ISBN 966-501-021-2.
5. **Нашельский, А. Я.** Производство полупроводниковых материалов [Текст]: учеб. пособие / А. Я. Нашельский. – М. : Металлургия, 1989. – 272 с. – Библиогр.: с. 270. – 5820 экз. – ISBN 5-229-00247-6.
6. **О'Мара, W. С.** Handbook of semiconductor silicon technology [Text]: W. С. O'Mara, R. E. Herring, L. P. Hunt. – Mill Road, Park Ridge, New Jersey, 1990. – 814 p. – References: p. 787-788. – 1000 copies. – ISBN 0-8155-1237-6.
7. **Пат. 2241079 Рос. Федерация: МПК С30 В 15/00, С 30 В 15/14, С 30 В 29/06.** Устройство для выращивания монокристалла кремния из расплава [Текст] / С. В. Алексеев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт Научно-производственное объединение «Луч». – 2003117511/15; заявл. 17.06.2003; опубл. 27.11.2004.

Стаття надійшла до редакції 07.10.2015 р.
Рецензент, проф. Г.О. Колобов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>