

УДК 621.315.592

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРИМЕСЕЙ И
ВРЕМЕНЕМ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В
МОНОКРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ**

Головко А.К., студент; Швец Е.Я., профессор, к.т.н.
Запорожская государственная инженерная академия

GDC 621.315.592

**RESEARCH OF CONNECTION BETWEEN DISTRIBUTION OF IMPURITY
AND LIFETIME OF NONEQUILIBRIUM CHARGE CARRIERS IN
SILICON MONOCRYSTALS**

Golovko A.K., student; Shvetz E.J., professor, Cand.Tech.Sci.
The Zaporozhye state engineering academy

Исследования, о которых идет речь в данной работе, относятся к области электроники, к разделу технологии полупроводниковых материалов для интегральных микросхем и солнечных элементов.

Экспериментально исследованы параметры монокристаллов кремния, выращенных в промышленных условиях по методу Чохральского. Показано, что для обеспечения значений времени жизни неравновесных носителей заряда выше минимально допустимого $\tau_{\text{ннз}} \geq 10$ мкс необходимо поддерживать соотношение концентраций примесей кислорода и углерода в монокристалле $N_{\text{O}}/N_{\text{C}} \geq 20$. Экспериментальное показано, что увеличение диаметра кварцевого тигля при прочих равных условиях приводит к уменьшению соотношения $N_{\text{O}}/N_{\text{C}}$ в монокристалле, что обуславливает уменьшение $\tau_{\text{ннз}}$. Разработана математическая модель, позволяющая оптимизировать продолжительность технологической операции гомогенизации расплава кремния перед началом роста монокристалла. Полученные результаты имеют практическое значение: они позволяют внести коррективы в программу процесса выращивания

монокристаллов кремния по методу Чохральського, которые направлены на увеличение величины времени жизни неравновесных носителей заряда $\tau_{\text{ннз}}$ и на обеспечение заданной концентрации кислорода в монокристаллах и таким образом - на повышение их качества и выхода годного продукта.

Ключевые слова: кремний, монокристалл, примесь, время жизни

Researches about which there is a speech in the given work, concern to area of electronics, to section of processing technique of semiconductive materials for integrated microcircuits and solar cells.

Parameters of the silicon syngle-crystals which produce up in industrial conditions by Czochralski method are experimentally investigated. It is shown, that for maintenance of size of lifetime of nonequilibrium charge carriers is higher minimally allowable $\tau_{\text{ннз}} \geq 10 \mu\text{s}$ it is necessary to support a concentration ratio of impurity of oxygen and carbon in syngle-crystals $N_{\text{O}}/N_{\text{C}} \geq 20$. Experimental it is shown, that the increase in diameter of a quartz crucible with other things being equal results decrease of ratio $N_{\text{O}}/N_{\text{C}}$ in a syngle-crystal that causes decrease $\tau_{\text{ннз}}$. The mathematical model is developed, allowing optimization of a duration of a processing procedure of silicon melt homogenization before the beginning of growth of syngle-crystal. The received results have practical value: they allow to bring in corrective amendments to the program of process of silicon single-crystal growth by Czochralski method which are directed on increase of lifetime of nonequilibrium charge carriers and on attainment of the concentration of oxygen in syngle-crystal and thus - on increase of their quality and an output of a suitable product.

Keywords: silicon, syngle crystal, impurity, lifetime

Введение. Возрождение в Украине высоких технологий производства кремния для микроэлектроники и солнечной энергетики предусматривает поиск оптимальных технологических условий выращивания его монокристаллов, которые обеспечивают заданный уровень концентрации примесей и величины времени жизни неравновесных носителей заряда ($\tau_{\text{ннз}}$) в монокристаллах.

Решение этих задач дает возможность повысить качество монокристаллов кремния, увеличить выход годного продукта и уменьшить его себестоимость. Это обуславливает актуальность данных исследований.

Цель и задачи исследования. Для управления концентрациями примесей и величиной времени жизни неравновесных носителей заряда ($\tau_{\text{ннз}}$) в монокристалле кремния необходимо использовать экспериментальные данные о взаимовлиянии и взаимозависимости этих параметров с учетом типа использованных при его выращивании оборудования и материалов.

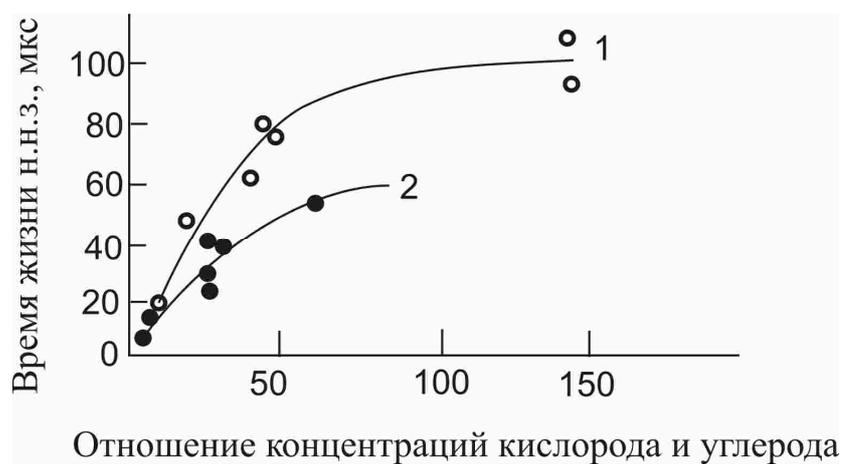
Цель работы – исследовать взаимосвязь между распределением примесей и величиной времени жизни неравновесных носителей заряда в монокристаллах кремния, а также оптимизировать технологию с целью повышения качества продукции и производительности производства.

Задачи работы: исследовать взаимозависимость концентрации комплексообразующих примесей кислорода и углерода с величиной времени жизни неравновесных носителей заряда и влияние на эти параметры диаметра кварцевого тигля; оптимизация продолжительности технологической операции гомогенизации расплава кремния перед началом выращивания монокристалла.

Материалы и методы исследования. В работе исследованы монокристаллы кремния, легированные бором, выращенные методом Чохральского в промышленных условиях. Кристаллографическая ориентация монокристаллов - $\langle 100 \rangle$, диаметр - 135,0 мм. Концентрацию оптически активных атомов кислорода и углерода в монокристаллах кремния измеряли стандартными методами поглощения инфракрасного излучения, а время жизни неравновесных носителей заряда $\tau_{\text{ннз}}$ - стандартным индикаторным методом.

Экспериментальные данные и их обработка.

Экспериментально показано [1, 2], что значение величины времени жизни неравновесных носителей заряда $\tau_{\text{ннз}}$ в монокристаллах кремния, выращиваемых в промышленных условиях, сильно зависит от соотношения концентраций двух комплексообразующих примесей - кислорода и углерода (рис. 1).



1- монокристаллы, выращенные в установке №1; 2 - в установке №2

Рисунок 1 – Зависимость величины $\tau_{\text{ннз}}$ от соотношения концентраций кислорода и углерода в монокристаллах кремния

Типичное требование к величине $\tau_{\text{ннз}}$ монокристаллического кремния для для солнечных элементов (солнечных батарей) - не ниже 10 мкс. Из данных рис. 1 вытекает, что обеспечить значение времени жизни неравновесных носителей заряда, выше минимально допустимого, можно путем поддержания соотношения концентраций примесей кислорода и углерода в монокристаллах $N_{\text{O}}/N_{\text{C}} \geq 20$.

Экспериментально показано, что увеличение диаметра кварцевого тигля с 356 мм до 330 мм при прочих равных условиях приводит к уменьшению соотношения концентраций примесей кислорода и углерода в монокристалле [3], что уменьшает величину времени жизни неравновесных носителей заряда.

Разработана математическая модель [4], позволяющая определить продолжительность технологической операции гомогенизации расплава кремния перед началом роста монокристалла, необходимую для уменьшения или увеличения концентрации кислорода в его верхнем сечении.

Выводы. Полученные результаты имеют практическое значение: они позволяют внести коррективы в программу процесса выращивания монокристаллов кремния по методу Чохральского, которые направлены на увеличения величины времени жизни неравновесных носителей заряда $\tau_{\text{ннз}}$ и

на обеспечение заданной концентрации кислорода в монокристаллах и таким образом на повышение их качества и выхода годного продукта.

Литература

1. Швець Є.Я., Головка Ю.В., Головка О.К. Вплив комплексоутворюючих домішок на час життя нерівноважних носіїв заряду в монокристалах кремнію / *Металургія. Збірник наукових праць ЗДІА.* - Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – Вип. 2 (27). – С. 132 – 137.

2. Головка О.К. Вплив домішок на час життя носіїв заряду в монокристалах кремнію // *Технологический аудит и резервы производства*, 2012. - № 3/1 (5). – С. 31-32.

3. Швець Є.Я., Головка Ю.В., Головка О.К. Вплив діаметра тигля на співвідношення концентрацій комплексоутворюючих домішок в монокристалах кремнію / *Металургія. Збірник наукових праць ЗДІА.* - Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – Вип. 3 (28). – С. 127 – 131.

4. Швець Є.Я., Головка О.К. Оптимізація тривалості гомегонізації розплаву кремнію перед вирощуванням монокристалів / *Металургія. Збірник наукових праць ЗДІА.* - Запоріжжя: ЗДІА, 2013. – Вип. 1 (29). – С. 106 – 110.

Сведения об авторах

1. Головка Александр Константинович;
студент 5-го курса (магистратура); Запорожская государственная инженерная академия; пр. Ленина 226, г. Запорожье, Украина, 69006; телефон (моб.) 0951743889; научные интересы – физическая и биомедицинская электроника.

2. Швец Евгений Яковлевич;
исполняющий обязанностей ректора; кандидат технических наук, профессор; Запорожская государственная инженерная академия; пр. Ленина 226, г. Запорожье, Украина, 69006; телефон: (061) 22 38 233;
научные интересы – материалы и устройства микроэлектроники.