

Р. Н. Воляр

УВЕЛИЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ

В статье описана возможность повышения времени жизни неравновесных носителей заряда в монокристаллах кремния при использовании исходного сырья с повышенным содержанием примесей

Ключевые слова: метод Чохральского, выращивание, кристалл, примесь

1. Введение

Исследования, о которых идет речь в статье, относятся к металлургии полупроводниковых материалов. Для изготовления солнечных элементов необходимы кристаллы кремния, имеющие величину времени жизни неравновесных носителей заряда не менее 30 мкс. Время жизни неравновесных носителей заряда является одним из главных параметров, непосредственно влияющих на коэффициент полезного действия солнечных элементов. Однако проблема регулирования величины этого параметра в процессе роста монокристалла на сегодняшний день практически не изучена. Особенно актуальной она становится в связи с нехваткой на мировом рынке качественного исходного сырья для производства кристаллов кремния. Известно [1], что применение исходного сырья с повышенным содержанием примесей приводит к снижению величины времени жизни неравновесных носителей заряда.

2. Постановка проблемы

Целью работы являлось изучение возможности увеличения времени жизни неравновесных носителей заряда с помощью тепловых условий в процессе выращивания кристаллов кремния из исходного сырья с повышенным содержанием примесей

3. Основная часть

3.1. Анализ литературных источников по теме исследований

Для выращивания кристаллов кремния методом Чохральского используют тепловые узлы различной конструкции. В работе [2,3] приведена конструкция модернизированного теплового узла, которая отличается от стандартного заменой материалов узла и добавлением дополнительных

тепловых экранов. Это обеспечивает заданное тепловое поле при выращивании кристаллов кремния и повышает их качество.

Предложные технологические режимы выращивания кристаллов кремния в работах [4,5], позволяют получать кристаллы кремния с заданными свойствами.

Результаты исследований представленные в работе [6] позволяют установить влияние посткристаллизационной обработки на характеристики кристаллов кремния.

3.2 Результаты исследований

При выращивании кристаллов кремния солнечных марок, которые используются для изготовления фотоэлектрических преобразователей, используют исходное сырье с повышенным содержанием примесей, (общая концентрация примесей в около $5 \cdot 10^{17}$ ат/см³). В процессе выполнения исследований было установлено, что снижение скорости охлаждения кристалла до 0,5 град/мин обеспечивает увеличение времени жизни неравновесных носителей заряда.

В то же время из литературных данных известно [7,8], что подобный эффект – увеличения времени жизни неравновесных носителей заряда, достигается при увеличении скорости охлаждения (15...30 град/мин). Однако этот эффект достигается для кристаллов с малым содержанием примеси (менее $1 \cdot 10^{17}$ ат/см³).

Установленные закономерности можно представить следующей графической зависимостью, на которой можно выделить два участка. Первый участок, который является результатом наших исследований, характеризуется увеличением времени жизни неравновесных носителей заряда при снижении скорости охлаждения, несмотря на значительное увеличение общего содержания примеси в кристалле кремния.

Второй участок является результатом литературных данных [7,8]. Как видно, увеличением скорости охлаждения кристалла обеспечивает уве-

личение времени жизни неравновесных носителей заряда, однако это достигается при уменьшении общей концентрации примесей. При этом видно, что с увеличением общей концентрации примеси величина времени жизни неравновесных носителей заряда уменьшается, не смотря на снижение скорости охлаждения.

Увеличение времени жизни неравновесных носителей заряда при уменьшении скорости охлаждения и при повышении концентрации примеси (первый участок), можно представить следующим механизмом. При выращивании кристаллов присутствующие в нем примеси образуют комплексы, которые являются ловушками для носителей заряда. Изменение тепловых условий выращивания кристалла или специальная термообработка кристаллов кремния приводит к изменению концентрации и общего количества комплексов.

В нашем случае при уменьшении скорости охлаждения кристалла устраняется образование примесных комплексов, которые по сечению захвата являются ловушками носителей заряда. Именно этот эффект является положительным фактором при увеличении времени жизни неравновесных носителей заряда в наших исследованиях.

При повышенных скоростях охлаждения (второй участок) за счет малого количества примесей образуются мелкие примесные комплексы с малым значением сечения захвата носителей заряда, что обеспечивает увеличение времени жизни неравновесных носителей заряда. Следует отметить, что сечение захвата примесного комплекса, является основным фактором влияющим на время жизни неравновесных носителей заряда. При уменьшении скорости охлаждения таких кристаллов кремния, то есть с малым содержанием примеси, примесь распределяется диффузионным путем по кристаллу и условия образования комплексов устраняются. Именно такая ситуация обеспечивает условия для увеличения величины времени жизни неравновесных носителей заряда.

Литература

1. Шве́ц, Е.Я. Развитие технологии кремниевого сырья для изготовления солнечных батарей [Текст] / Е.Я. Шве́ц, О.П. Головки, И.Ф. Червоный, Р.Н. Волярь // Теория и практика металлургии. Днепропетровск : НМетАУ. – 2006. – № 6. – С. 44-49.
2. Головки, О.П. Энергосберегающий тепловой узел установки для выращивания монокристаллов кремния [Текст] / О.П. Головки, И.Ф. Червоный, Е.Я. Шве́ц, Р.Н. Волярь, А.С. Голев, А.Б. Комаров // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 21-23.
3. Червоный, І.Ф. Напівпровідниковий кремній: теорія і технологія виробництва : монографія [Текст] / І.Ф. Червоный, В.З. Куцова, В.І. Пожув, Є.Я. Шве́ц, О.А. Носко, С.Г. Єгоров, Р.М. Волярь ; під заг. ред. І. Ф. Червоного. – Вид. 2-е, допр. і перер. – Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2009. – 488 с. – Бібліогр.: 446-484. – 300 прим. – ISBN 978-966-8462-24-5.

4. Патент 22770 Україна, МПК⁷ С30В 15/02. Спосіб вирощування монокристалів кремнію з розплаву / Р.М. Волярь, С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоный (Україна). – u 2006 13619; заявл. 22.12.2006; видано 25.04.2007. Бюл. №5.
5. Патент 23104 Україна, МПК⁷ С30В 15/02. Спосіб вирощування монокристалів кремнію з розплаву / Р.М. Волярь, С.Г. Єгоров, М.І. Карась, О.М. Комаринський, І.Ф. Червоный, Є.Я. Шве́ц (Україна). – u 2006 12744; заявл. 04.12.2006; видано 10.05.2007. Бюл. №6.
6. Волярь, Р.Н. Влияние посткристаллизационной обработки на характеристики монокристаллов кремния [Текст] / Р.Н. Волярь, С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоный // Проблеми і задачі освіти і науки. Збірник наукових праць ЗНТУ. – 2009. – Випуск 1. – С. 61-64. ISBN – 978-966-7282-95-0
7. Таран, Ю.Н. Полупроводниковый кремний: теория и технология производства [Текст] : монография / Ю.Н. Таран, В.З. Куцова, И.Ф. Червоный, Е.Я. Шве́ц, Э.С. Фалькевич – Запорожье : ЗГИА, 2004. – 343 с. : рис., табл. – Библиогр.: с. 317-342. – 300 экз. – ISBN 966-7101-61-4.
8. Фалькевич, Э.С. Технология полупроводникового кремния : монография [Текст] / Э.С. Фалькевич, Э.О. Пульнер, И.Ф. Червоный, Л.Я. Шварцман, В.Н. Яркин, И.В. Салли ; под ред. Э. С. Фалькевича. – М. : Металлургия, 1992. – 407 с. – Библиогр.: с. 399-407. – ISBN 5-229-00740-0.

ПІДВИЩЕННЯ ЧАСУ ЖИТТЯ НЕРІВНОВАЖНИХ НОСІВ ЗАРЯДУ В КРИСТАЛАХ КРЕМНІЮ

Р. М. Волярь

У статті описана можливість підвищення часу життя нерівноважних носіїв заряду в монокристалах кремнію при використанні початкової сировини з підвищеним вмістом домішок

Ключові слова: метод Чохральського, вирощування, кристал, домішка

Роман Миколайович Волярь, аспірант кафедри металургії кольорових металів, Запорізька державна інженерна академія, тел. (068) 451-91-07, e-mail: voron@meta.ua

INCREASES OF THE NON-EQUILIBRIUM CHARGE CARRIER LIFETIME IN SILICON CRYSTALS

R. Volyar

The article describes possibility increase of the non-equilibrium charge carrier lifetime in silicon monocrystals at use of initial raw materials with the increased content of impurity is considered

Keywords: method Chohralsky, impurity, crystal, growth

Roman Volyar, graduate student of department metallurgists of the nonferrous metals, to the Zaporizhzhya state engineering academy, tel. (068) 451-91-07, e-mail: voron@meta.ua