

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИКРЕМНИЯ РАЗЛИЧНОГО ИСХОДНОГО СОСТАВА

Пресняков¹ Р.В.

*Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН, г. Иркутск,
e-mail: ropr@igc.irk.ru*

В настоящее время мультикристаллический кремний по праву считается базовым материалом для солнечных элементов наземного применения, электрофизические свойства которого имеют сложно предполагаемую корреляцию с физико-химическими условиями его получения вообще, и особенностями дефектно-примесного взаимодействия, в частности [Buonassisi, 2006]. Наличие примесей обусловлено переходом на более дешёвые источники исходного сырья в связи с бурным ростом солнечной энергетики. Основным из них является металлургический кремний от процесса карботермического восстановления, рафинированный в конденсированном состоянии – флюсование, барботирование, выщелачивание, и получение мультикремния направленной кристаллизацией в том числе (рис. 1).

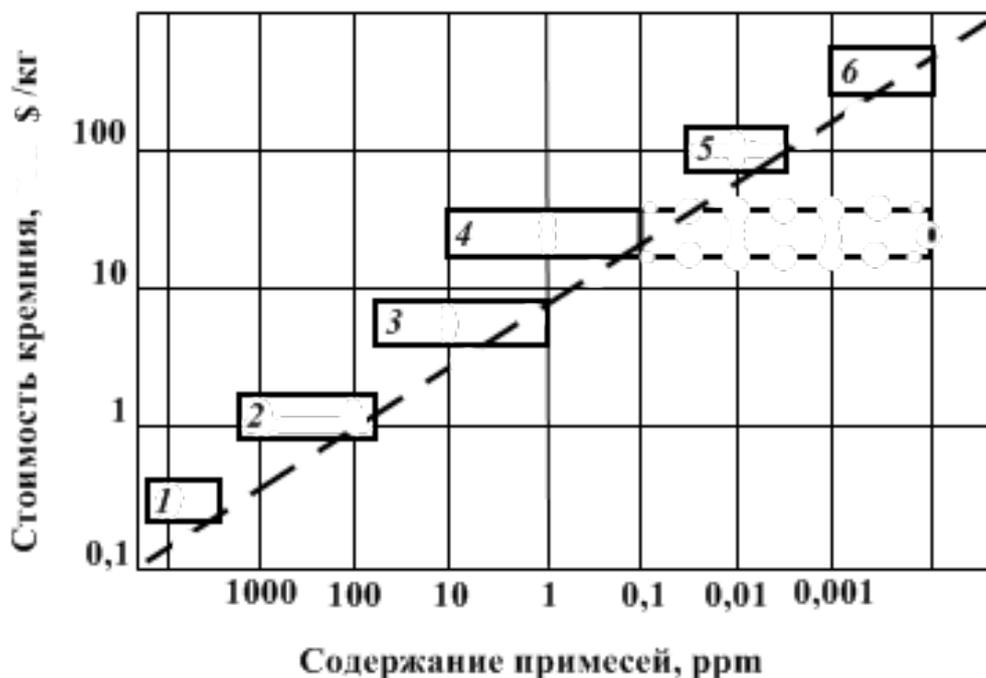


Рис. 1. Влияние степени очистки металлургического кремния на его стоимость: 1 – металлургический кремний, 2 – рафинированный кремний HP1, 3 – рафинированный кремний HP2, 4 – кремний для солнечной энергетики, 5 – монокристаллический кремний, 6 – поликристаллические стержни полупроводникового кремния (от процесса восстановления хлорсиланов)

Предварительные данные показали, что при увеличении общего содержания переходных примесей группы железа (Fe, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni) в исходном сырье от 6 ppm до 18 ppm не происходит резкого снижения значений подвижности (μ) носителей заряда в мультикремнии (табл. 1). Это говорит о том, что их исходная концентрация в указанном интервале не является критичной. При снижении исходного содержания примесей, снижается эффективность рафинирования кремния направленной кристаллизацией,

поскольку в среднем трёхкратно возрастают их эффективные коэффициенты распределения (табл. 2). Оптимальное дополнение процесса выращивания таким подходом, как инженерия дефектов в кремнии за счёт термической обработки [Hong-jun, 2011; Buonassisi, 2005], в пределах её физических возможностей позволяет перейти на рафинированный кремний более низкого качества (HP1).

Таблица 1.

Сравнение параметров* электропроводности прямоугольных образцов мультикремния до и после термообработки

Слиток	ρ , Ом·см		R, см ³ /Кл		μ , см ² /(В·с)		n, см ⁻³	
	после роста	1200°С-3ч	после роста	1200°С-3ч	после роста	1200°С-3ч	после роста	1200°С-3ч
№1 (низ)	0.22	0.24	39	42	175	175	$1.6 \cdot 10^{17}$	$1.5 \cdot 10^{17}$
№1 (верх)	0.18	0.17	28	35	158	205	$2.2 \cdot 10^{17}$	$1.8 \cdot 10^{17}$
№2 (низ)	0.66	0.67	167	157	254	234	$3.7 \cdot 10^{16}$	$4.0 \cdot 10^{16}$
№2 (верх)	0.5	0.49	113	101	226	205	$5.4 \cdot 10^{16}$	$6.2 \cdot 10^{16}$

* ρ – удельное сопротивление, R – коэффициент Холла, μ – подвижность, n – концентрация носителей заряда

Таблица 2.

Сравнение эффективных коэффициентов распределения примесей в кремнии при направленной кристаллизации

Слиток	Fe	Ni	V	Ti	Cr	Mn	Co
№1 ($\rho \geq 0.2$ Ом·см)	0.06	0.15	0.0015	0.1	0.04	0.03	0.0003
№2 ($\rho \geq 0.5$ Ом·см)	0.2	0.3	0.007	0.45	0.12	0.15	0.001

Литература

Buonassisi T., Istratov A. A., Pickett M. D., Marcus M.A., Cizek T.F., Weber E.R. Metal precipitation at grain boundaries in silicon: dependence on grain boundary character and dislocation decoration // Applied Physics Letters, 2006, V. 89, No. 4. 042102; <http://dx.doi.org/10.1063/1.2234570> (3 pages)

Buonassisi T., Istratov A.A., Marcus M.A., Lai B., Cai Z., Heald S.M., and Weber E.R. Engineering metal-impurity nanodefects for low-cost solar cells // Nature Materials. 2005. N 4. P. 676-679.

Hong-jun Wu, Wen-hui Ma, Xiu-hua Chen, Yong Jiang, Xiang-yang Mei, Cong Zhang, Xing-hui Wu. Effect of thermal annealing on defects of upgraded metallurgical grade silicon // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2011. V. 21. N6. P. 1340-1347.