Распределение примесей в мультикристаллическом кремнии, выращенном из UMG-кремния методом Бриджмена

С.М. Пещерова¹⁾, Р.В. Пресняков¹⁾, А.И. Непомнящих¹⁾, Н.В. Клушина^{1,2)}

¹⁾ Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
664033 г. Иркутск, ул. Фаворского, д.1 "А"

²⁾ Иркутский государственный университет, 664003, ул. Карла Маркса, д.1
эл. почта: speschero@mail.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-35

В последние годы в технологии фотоэлектрических преобразователей на основе мультикристаллического кремния (mc-Si) существенной альтернативой стало использование n-типа проводимости в качестве материала исходной подложки наряду с традиционным p-типом. Показано, что в слитках n типа высокие значения времени жизни неравновесных носителей заряда (вплоть до 1 мс) обусловлены не столько фундаментальным отличием электронов от дырок, сколько отсутствием глубоких уровней, характерных именно для mc-Si p-типа [1]. Например, это уровни, связанные с образованием комплексов В-О и Fe-В. Актуальной альтернативой, снижающей себестоимость кремниевых пластин, является использование металлургического кремния высокой чистоты (UMG-Si, 5N-6N) в качестве исходной для выращивания слитков загрузки. Однако, не все присутствующие в нём примеси и не всегда образуют монотонно возрастающий профиль распределения, соответствующий конкретному значению эффективного распределения (<1) конкретной примеси [2]. Помимо начальной концентрации примеси, скорости и формы фронта кристаллизации, процессов в расплаве, необходимо учитывать еще и зёрно-границную структуру слитка, распределение дислокаций. Неравномерность распределения примесей в mc-Si в существенной мере связана с процессами сегрегации примесей на межзёрнных границах общего типа и дислокациях [3]. В настоящей работе мы рассматриваем особенности взаимодействия 19 элементов примесей между собой в зависимости от формируемой макроструктуры слитка. Процессы сегрегации примесей связаны не только с границами общего типа и дислокациями, но и с распределением их в виде микровключений в зёрнах [4]. Причем, микровключения различных составов по-разному влияют на распределение времени жизни ННЗ в объеме слитка мультикремния. А состав микровключения, в свою очередь, связан с кристаллографическими особенностями зерна: более плотноупакованные относительно плоскости фронта кристаллизации зёрна (зёрна с высокой ретикулярной плотностью) существенно меньше содержат микровключений и дислокаций, чем зёрна с более низкой ретикулярной плотностью. Влиять на процессы распределения примесей в процессе кристаллизации, таким образом, представляется возможным благодаря обеспечению особых тепловых и скоростных режимов направленной кристаллизации. Это перспективное направление исследований позволит достичь высокой эффективности фотоэлектрпреобразователей на основе мультикремния и существенно снизить их себестоимость за счёт использования в качестве исходного сырья UMG-Si.

Литература

- [1] J. Schön, F. Schindler, W. Kwapil et al. Identification of the most relevant metal impurities in mc n-type silicon for solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 142:107-115, DOI: 10.1016/j.solmat.2015.06.028.
- [2] M. C. Schubert, J. Schön, F. Schindler et al. Impact of Impurities From Crucible and Coating on mc-Silicon Quality—the Example of Iron and Cobalt, *IEEE Journal of Photovoltaics* 3(4):1250-1258, 2013, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2013.2279116.
- [3] S. J. Bo, S. S. Matsushima. Effects of crystal defects and their interactions with impurities on electrical properties of multicrystalline Si. *Journal of Applied Physics* 113(133503), 2013, DOI: 10.1063/1.4798600.
- [4] С.М. Пещерова, Е.Б. Якимов, А.И. Непомнящих, Л.А. Павлова, О.В. Феклисова, Орлов В.И., Р.В. Пресняков. Зависимость объемных электрофизических свойств мультикремния от параметров разориентации зёрен, *Физика и техника полупроводников*, 2019, том 53, вып. 1, с. 59-64.