

С.В. Вакарин канд. ф-м. наук<sup>1</sup>,  
О.Л. Семеникова канд. хим. наук<sup>1</sup>,  
А.В. Косов<sup>1,2</sup>,  
А.А. Панкратов<sup>1</sup>,  
А.А. Трофимов<sup>1,2</sup>,  
А.М. Леонова<sup>2</sup>,  
Н.М. Леонова<sup>2</sup>,  
Д.М. Солодянкина<sup>1</sup>,  
Ю.П. Зайков, проф., д-р хим. наук<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>ИВТЭ УрО РАН, г. Екатеринбург)  
(<sup>2</sup>УрФУ, г. Екатеринбург)

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Для повышения эффективности солнечных преобразователей на основе кремния применяются процедуры по созданию на поверхности кремния текстур с размерами шероховатостей, близкими к длинам волн видимого света (0.38–0.78 мкм). В патентной и научной литературе описано большое количество способов создания таких текстур на поверхности монокристаллического кремния. Большинство из них основано на различных скоростях растворения кремния в направлениях [100] и [111]. В качестве травителей используются водные растворы на основе гидроксидов натрия или калия либо плавиковой кислоты при температурах менее 100°C. Кроме того известен способ текстурирования кремниевых пластин с помощью окисления под тонким слоем V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, в результате которого на поверхности кремния образуется слой, состоящий из макроскопической текстуры, (30–45 мкм), на поверхности которой находятся многочисленные вогнутые сфероиды с размерами от 0.1 до 0.4 мкм [1, 2].

Нами предложен электрохимический способ обработки кремниевых пластин для солнечных батарей в расплаве эквимольной смеси K<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> – Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> (реагенты марки Ч) с добавками 35 или 50 мол.% WO<sub>3</sub> (марка ХЧ).

Электрохимическую обработку исходной кремниевой пластины (рис.1а) проводили в трехэлектродной ячейке с использованием импульсного потенциостатического режима в атмосфере воздуха. Для этого пластинку помещали в расплав и подавали на нее катодный потенциостатический импульс заданной величины и длительностью 15 с. В ряде экспериментов перед погружением пластинки ее прогревали над расплавом в течение 5 минут. Анодом служила платиновая проволока, электродом сравнения – платиновая фольга площадью 1 см<sup>2</sup>, по-

лупогруженная в расплав, а катодом – обрабатываемая кремниевая пластина. Контейнером являлся платиновый тигель. Температуру процесса поддерживали постоянной – 700°C. Для проведения эксперимента электрохимическую ячейку помещали в шахтную печь, температуру в которой поддерживали с помощью терморегулятора «Варта ТП 703». Вблизи электродов (в электролите) температуру измеряли с помощью платина-платинородиевой термопары. Электроосаждение проводили с помощью потенциостата-гальваностата Autolab PGSTAT302N (Metrohm, Netherlands) с программным обеспечением Nova 1.9.

По окончании опыта катодный осадок отмывали в щелочном растворе (10 мас.% KOH) комнатной температуры, затем промывали дистиллированной водой и спиртом. Морфологию осадков изучали с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LMU (TESCAN, Чехия). Полную удельную поверхность измеряли с помощью многооточечного метода BET. Величину фототока, протекающего через пластину, измеряли по трехэлектродной схеме, в 1М KNO<sub>3</sub> при помощи электрохимической станции ZiveLAB SP2 при потенциале –0.6 В. В качестве рабочего электрода использовали обработанную кремниевую пластинку, противоэлектрода – графитовый стержень, электрода сравнения – хлоридсеребряный электрод. Измерения проводили в режиме потенциостатической развертки потенциала в катодную область со скоростью 10 мВ/с. Источником света служила УФ лампа, электрической мощностью 25 Вт, длина волны 365 нм.

Установлено, что в зависимости от условий электролиза, на поверхности кремниевых пластин образуется несколько видов текстур: текстуры в виде четырехгранных пирамид (рисунок 1б), текстуры в виде четырехгранных пирамид и участков с пирамидальными ямками (рисунок 1в), текстуры в виде многогранных пирамид (рисунок 1г). Удельная поверхность и фототок, протекающий через эти пластины, приведены в таблице.

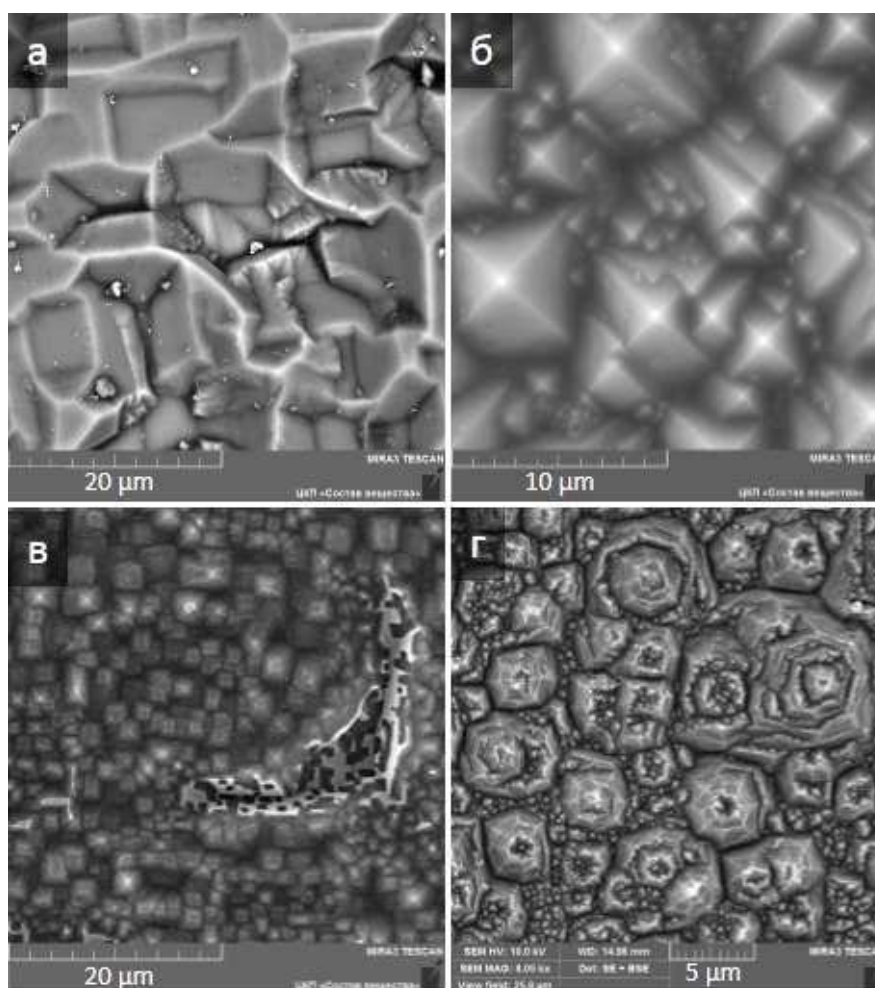


Рисунок 1 – СЭМ изображения монокристаллической кремниевой пластины. а – исходная пластинка монокристаллического кремния, б – 50 мол.%  $WO_3$ , с предварительным прогревом пластинки, в – 50 мол.%  $WO_3$ , без предварительного прогрева пластинки, г – 35 мол.%  $WO_3$ , без предварительного прогрева пластинки.

Таблица 1 - Удельная поверхность и фототок, протекающий через пластины монокристаллического кремния

Содержание $WO_3$ , мол.%	Параметры электролиза	$S_{уд}$ , $m^2/g$	Фототок, $\mu A/cm^2$
–	–	$5.2 \pm 0.6$	3
50	–920 мВ, с предв. прогревом	$14.3 \pm 0.9$	17
50	–920 мВ, без предв. прогрева	$6.3 \pm 0.6$	15
35	–1020 мВ, без предв. прогрева	$10.7 \pm 0.2$	18

Видно, что электрохимическая обработка позволяет повысить фототок более чем в пять раз при сохранении геометрических размеров монокристаллической кремниевой пластины.

Работа выполнена в рамках соглашения №075-03-2020-582/1 от 18.02.2020 (номер темы 0836-2020-0037).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. РФ. № 2600076. Способ получения светопоглощающей кремниевой структуры. С.Е. Никитин, Е.Е. Терукова, А.В. Нащекин, А.В. Бобыль. 20.10.2016.

2. В.В. Шпейзман, В.И. Николаев, А.О. Поздняков, А.В. Бобыль, Р.Б. Тимашов, А.И. Аверкин, С.Е. Никитин, О.И. Коньков, Г.Г. Шелопин, Е.И. Теруков, А.В. Нащекин Влияние текстурирования поверхности пластин кремния для солнечных фотопреобразователей на их прочностные свойства. Журнал технической физики, 2020, том 90, вып. 7, С.1168-1173.