

УДК 539.231

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ Fe-Si ПРИ ОТЖИГЕ В ПЛАЗМЕ

Щербаклова Е.Н.¹, Баган Н.П.¹, Венскевич Н.Н.¹, Козуля А.А.¹, Лапицкая В.А.^{1,2}¹Белорусский национальный технический университет²Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты комплексных исследований методами электронографии и атомно-силовой микроскопии тонкопленочных систем на основе железа и кремния при отжиге в плазме дугового разряда. Определены оптимальные режимы обработки для формирования пленок дисилицида железа β -модификации.

Ключевые слова: тонкие пленки, силициды, атомно-силовая микроскопия.

COMPLEX INVESTIGATIONS OF THIN-FILM SYSTEMS BASED ON Fe-Si BY PLASMA ANNEALING

Shcherbakova E.¹, Bagan N.², Venskevich N.², Kozulya A.², Lapitskaya V.^{1,2}¹Belarusian National Technical University²A.V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of complex studies using electronography and atomic force microscopy of thin-film systems based on iron and silicon during treatment in an arc discharge plasma are presented. Optimal treatment modes for the formation of thin films of iron disilicide of beta modification have been determined.

Keywords: thin films, silicides, atomic force microscopy.

Адрес для переписки: Щербаклова Е.Н., ул. Я. Коласа, 22, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: scherbakova@bntu.by

Дисилицид железа β -FeSi₂ является перспективным материалом для применения в различных электронных устройствах. В силу своих электрофизических, оптических и теплофизических свойств он находит применение в солнечных элементах для повышения их коэффициента полезного действия, в источниках излучения с $\lambda \sim 1.5$ мкм, в волоконно-оптических линиях связи. На его основе создают термоэлектрические элементы для термоэлектрических генераторов и резистивные материалы с низким температурным коэффициентом сопротивления [1].

В данной работе для формирования пленок β -FeSi₂ использовали обработку тонкопленочных систем на основе железа и кремния в плазме аргона. Исходные системы формировались электронолучевым напылением, как показали ранее проведенные расчеты, оптимальным для формирования дисилицида железа является соотношение толщины слоев 50 нм -30 нм-50 нм для Si-Fe-Si [2]. Далее образцы подвергали стационарному отжигу в плазме дугового разряда в среде аргона при температурах 500°, 600° и 700° в течение 15 минут.

Определение фазового состава производилось на электронографе ЭМР-102. Для идентификации расшифрованных электронограмм использовали базу данных of the International Centre for Diffraction Data.

Результаты электронографических исследований представлены на рис. 1 и приведены в табл. 1

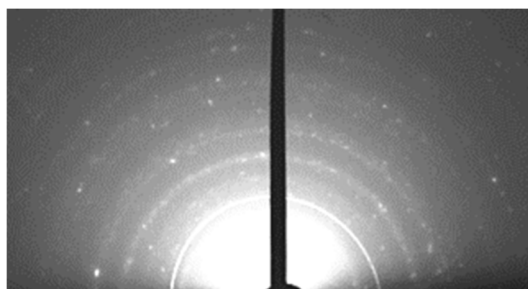


Рисунок 1 – Электронограммы от тонкопленочной системы Si-Fe-Si после обработки в плазме аргона при 700° в течение 15 минут

Таблица 1. Результаты расшифровки электронограмм от тонкопленочной системы Si-Fe-Si после обработки в плазме аргона в течение 15 минут

d, нм	hkl	Температура, °С		
		500	600	700
0.331	112	-	-	β -FeSi ₂
0.319	110	FeSi	FeSi	-
0.285	221	-	-	β -FeSi ₂
0.247	400	-	-	β -FeSi ₂
0.241	222	-	-	β -FeSi ₂
0.217	023	-	-	β -FeSi ₂
0.201	210	FeSi	FeSi	-
0.184	211	FeSi	FeSi	-

Для исследования морфологии поверхности образцов использовали атомно-силовую микроскоп (АСМ) НТ-206 (ОАО «Микротестмашины», г. Гомель, Беларусь) и стандартный кремниевый

кантилевер NSC-11 (Микромаш, Эстония) с жесткость консоли 3 Н/м и радиусом закругления острия 10 нм.

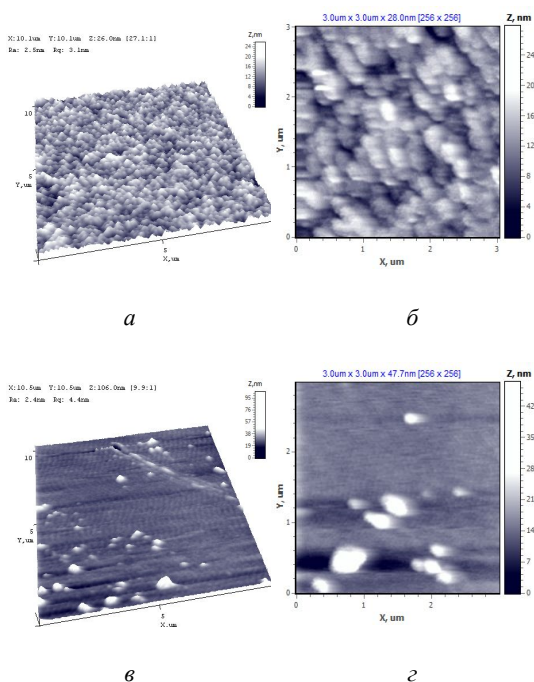


Рисунок 2 – АСМ-изображения: *a, б* – исходной тонкопленочной системы, *в, г* – после обработки в плазме аргона; *a, в* – поле 10 мкм²; *б, г* – поле 3 мкм²

Структура исходной поверхности кремния с нанесенной на него тонкопленочной системой

приведена на рис. 2 *a, б*. Как видно, структура исходной системы зернистая. Размер зерна составляет около 100–300 нм.

Как показал анализ изображений, шероховатость поверхности на поле размером 10 мкм² составила $Ra = 2,5$ нм, $Rq = 3,1$ нм.

После обработки в плазме структура становится более гладкой. На поверхности присутствуют частицы размером от 300 до 700 нм.

Шероховатость поверхности пленки на поле размером 10 мкм² по сравнению с исходной поверхностью кремния практически не изменилась и составила $Ra = 2,4$ нм, $Rq = 4,4$ нм (рис. 2 *в, г*).

Таким образом, при плазменном отжиге системы Si-Fe-Si при $T = 500\text{--}600^\circ$ на ее поверхности происходит формирование силицида железа с низким содержанием кремния FeSi. При увеличении температуры обработки до 700° наблюдается формирование дисилицида железа $\beta\text{-FeSi}_2$. Данные соединения образуются в результате взаимной диффузии железа и кремния с последующим взаимодействием. Шероховатость поверхности остается практически неизменной.

Литература

1. Experimental investigation of the band edge anisotropy of the $\beta\text{-FeSi}_2$ semiconductor / M. Marinova [et al.] // Solid State Sciences. – 2008. – Vol. 10. – P. 1369–1373.
2. Маркевич, М. И. Влияние импульсного фотонного отжига на структуру и фазовый состав тонкопленочных систем на основе кремния и переходных металлов // М. И. Маркевич, А. М. Чапанов, Е. Н. Щербакова // Наука и техника. – № 5. – 2012. – С. 13–16.