

УДК 62-932.2

СТРУКТУРА ПЛЕНОК СПЛАВА АЛЮМИНИЙ-КРЕМНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Дидык П.И.^{*}, Голиков Е.А., Жуков А.А.^{**}

*Компания «Российские космические системы»,
ул. Авиамоторная, 53, Москва, 111250, Россия*

**e-mail: Felix_engine@mail.ru*

***e-mail: and_zhukov@mail.ru*

Методами электронной микроскопии и профилометрии исследована структура пленок сплава алюминий-кремний (99% Al и 1% Si), полученных физическим магнетронным распылением. Исследованы и получены величины среднего размера зерна пленок сплава алюминий-кремний при варьируемых мощности распыления, продолжительности распыления и толщине металлизации.

Ключевые слова: структуры пленок сплава алюминий-кремний, размер зерна при варьируемых режимах напыления.

Технология осаждения с помощью физического распыления играет значительную роль при изготовлении сверхбольших интегральных схем [1]. Параметры осаждения материалов оказывают большое влияние на характеристики устройств, поэтому к качеству напыляемых слоёв предъявляются жесткие требования. Одним из критериев качества является структура получаемых плёнок, которая влияет на механические свойства изделия [2]. Зерна напыленных пленок разориентированы, повернуты одни относительно других до десятков градусов. Границы — один из основных дефектов в металлах и сплавах. Размер зерен получаемых плёнок возрастает с повышением температуры подложки [3, 4]. Систематические данные не представлены в явном виде, поэтому работа по определению структуры пленок сплава алюминий-кремний актуальна.

Целью работы было определение структуры пленок сплава алюминий-кремний (99% Al и 1% Si) в плёнках, полученных методом физического магнетронного распыления при варьируемых режимах.

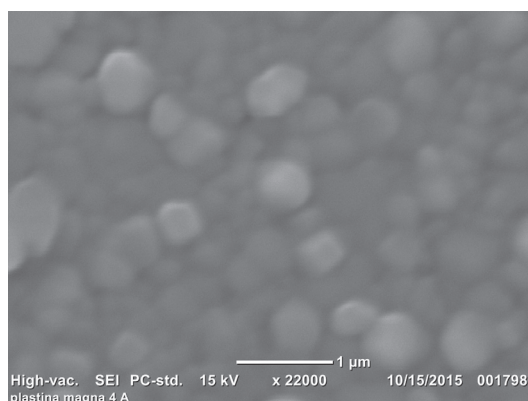
Объектами исследования служили плёнки сплава алюминий-кремний (99% Al и 1% Si) толщиной от 0,2 до 1,2 мкм, полученные физическим магнетронным распылением при варьируемых режимах на кремневых пластинах диаметром 100 мм, подвергнутых предварительной химической обработке. В процессе работы исследовали величину среднего размера зерна пленок, полученных при варьируемых мощности распыления, продолжительности распыления и толщине металлизации (табл. 1).

Полученные структуры исследовали на растровом электронном микроскопе при увеличении 17000—22000^х (рис. 1), после чего измеряли средние размеры и количество зёрен сплава алюминий-

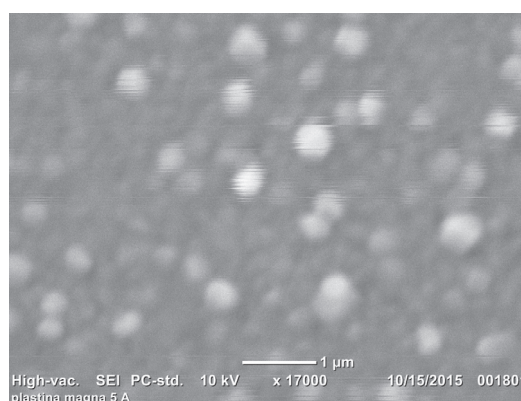
Таблица 1

Режимы напыления плёнок сплава алюминий-кремний, толщиной 1+0,1 мкм

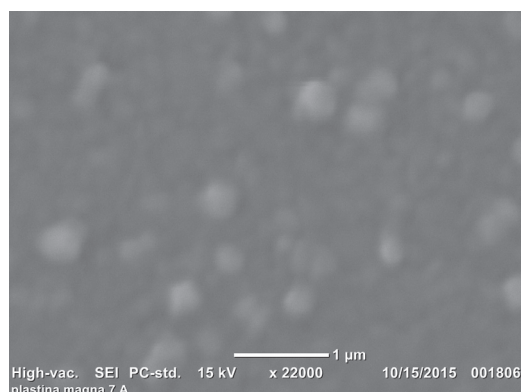
Номер образца	Режим напыления			
	Ток, А	Напряжение, В	Мощность, кВт	Продолжительность распыления, с
1	4	360	1,44	480-500
2	5	390	1,95	350-380
3	7	420	2,94	300-320
4	8	430	3,44	240-260



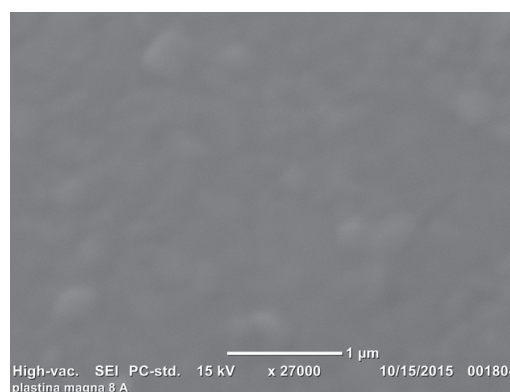
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Снимок поверхности образцов плёнок сплава алюминий-кремний в РЭМ: а — образец № 1; б — образец № 2; в — образец № 3; г — образец № 4

кремний на площадке $10 \times 10 \text{ мкм}^2$ измерительными средствами РЭМ. Толщину пленок исследовали с помощью стилусного профилографа.

На рис. 1 представлены снимки поверхности образцов плёнок сплава алюминий-кремний в РЭМ, полученных при варьируемых режимах распыления (номера образцов соответствуют режимам табл. 1).

Как видно из рис. 1, при одинаковой толщине пленки сплава алюминий-кремний при уменьшении продолжительности распыления уменьшается средний размер и количество зерен сплава алюминий-кремний (табл. 2).

Экспериментальные данные табл. 2 показывают, что с увеличением мощности и уменьшением продолжительности распыления приблизительно в

два раза пропорционально уменьшаются средний размер зерна и количество зерен на квадратный микрометр.

Для выявления фактора, наиболее влияющего на образование и размер зерна получаемых плёнок,

Таблица 2

Средний размер зерна плёнок сплава алюминий-кремний при варьируемых режимах напыления

Номер образца	Средний размер зерна, нм	Количество зёрен, шт./мкм ²
1	420-480	2-4
2	300-320	1-3
3	280-350	0-2
4	230-280	0-2

проведено исследование зависимости размера зерна при варьируемой мощности распыления при одинаковой продолжительности распыления и толщине приблизительно 1 мкм (табл. 3).

Таблица 3

Средний размер зерна плёнок сплава алюминий-кремний при варьируемой мощности распыления

Номер образца	Мощность, кВт	Средний размер зерна, нм
1"	1,44	305-325
2"	1,95	310-320
3"	2,94	290-325
4"	3,44	300-330

Согласно представленным данным размер зерна получаемых плёнок мало зависит от мощности распыления в диапазоне 1,44–3,44 кВт и находится в диапазоне 290–330 нм с разбросом $\pm 7\%$.

Проведено исследование среднего размера зерна плёнок сплава алюминий-кремний при варьируемой продолжительности распыления (рис. 2), толщине (рис. 3) и одинаковой мощности распыления 2 кВт.

На рис. 3 представлена зависимость среднего размера зерна плёнок сплава алюминий-кремний при варьируемой толщине металлизации.

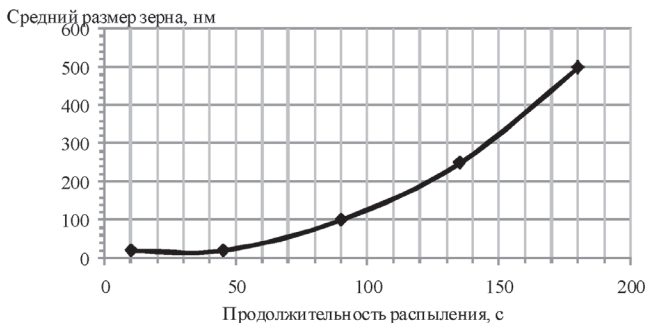


Рис. 2. Средний размер зерна плёнок сплава алюминий-кремний при варьируемой продолжительности распыления

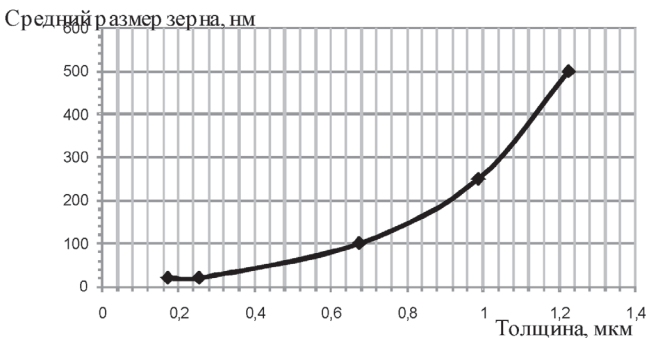


Рис. 3. Средний размер зерна плёнок сплава алюминий-кремний при варьируемой толщине металлизации

Из рис. 2 и 3 видно, что средний размер зерна пленок сплава алюминий-кремний нелинейно возрастает приблизительно в 25 раз (с 20 нм до 500 нм) с увеличением толщины пленки сплава алюминий-кремний с 0,2 мкм до 1,2 мкм за счет увеличения продолжительности распыления при фиксированной мощности распыления.

Выводы

Таким образом, методами электронной микроскопии и профилометрии исследована структура пленок сплава алюминий-кремний (99% Al и 1% Si), полученных физическим магнетронным распылением. Исследованы и получены величины среднего размера зерна плёнок сплава алюминий-кремний при варьируемых мощности распыления, продолжительности распыления и толщине металлизации. При одинаковой толщине пленки сплава алюминий-кремний при уменьшении продолжительности распыления уменьшаются средний размер и количество зерен сплава алюминий-кремний. С увеличением мощности и уменьшением продолжительности распыления приблизительно в два раза пропорционально уменьшаются средний размер зерна и количество зерен на квадратный микрометр. Размер зерна получаемых плёнок мало зависит от мощности распыления и находится в диапазоне 290–330 нм с разбросом $\pm 7\%$. Средний размер зерна пленок сплава алюминий-кремний нелинейно возрастает приблизительно в 25 раз (с 20 до 500 нм) с увеличением толщины пленки сплава алюминий-кремний с 0,2 до 1,2 мкм за счет увеличения продолжительности распыления при фиксированной мощности распыления, что, возможно, связано с ростом температуры подложки за счет конденсации сплава алюминий-кремний, поскольку известно [5–8], что образование и рост зерен напыляемых металлов происходят в прямой зависимости от температуры подложки, с повышением температуры подложки увеличивается размер зерна.

Библиографический список

1. Толливер Д., Новицки Р., Хесс Д. и др. Плазменная технология в производстве СБИС: Пер. с англ. / Под ред. Н. Айнспрука, Д. Брауна. — М.: Мир, 1987. — 470 с.
2. Shih-Chuan Her, Yi-Hsiang Wang. Temperature effect on microstructure and mechanical properties of aluminum film deposited on glass substrates. Indian Journal of Engineering and materials sciences. Vol.22. June 2015, pp. 268-272.
3. Takashi Ishiguro, Kazumi Miyamura. Controllability of Mesoscopic Surface Roughness of Sputtered Al and Al-N Films. Materials Transactions. 2005. Vol. 46. No. 12, pp. 3037-3043.

4. Антоненко С.В. Технология тонких пленок: Учебное пособие. — М.: МИФИ, 2008. — 104 с.
5. Дубровский В.Г., Цырлин Г.Э. Кинетика роста тонких пленок при зародышевом механизме формирования слоев // Физика и техника полупроводников. 2005. Т. 39. № 11. С. 1312-1319.
6. Технология тонких пленок: Справочник: В 2 т. / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. — М.: Советское радио, 1977. — Т. 1 — 664 с. Т. 2 — 770 с.
7. Chopra K.L., Kainthla R.C., Pandya D.K., Thakoor A.P. Physics of Thin Films. Academic press. London. 1982. Vol. 12, pp. 167.
8. Коломенцев А.И., Захаров С.А., Якутин А.В. Математическая модель расчета теплофизических свойств газовой смеси // Вестник Московского авиационного института. 2007. Т. 14. №3. С. 41-47.

FILM STRUCTURE OF ALUMINUM-SILICON ALLOY OBTAINED BY PHYSICAL MAGNETRON SPUTTERING

Didyk P.I.* , Golikov E.A., Zhukov A.A.**

*Russian Space Systems,
53, Aviamotornaja str., Moscow, 111250, Russia*

*e-mail: Felix_engine@mail.ru

**e-mail: and_zhukov@mail.ru

Abstract

Film structure of aluminum-silicon alloy (99% Al and 1% Si) obtained by physical magnetron sputtering was studied by electron microscopy and profilometry. The values of average aluminum-silicon alloy films with varying sputtering power, sputtering time and metal coating thickness were studied and obtained.

With equal aluminum-silicon alloy films thickness, the sputtering time decrease results in alloy grains average size and quantity reduction. With power increase and sputtering time approximately twofold decrease the average grain size and number of grains per square millimeter decrease proportionally. The obtained grains size depends weakly on sputtering power and stays within the range of 290-330 nm with $\pm 7\%$ precision.

The average film grains size of aluminum-silicon alloy increases non-linearly approximately 25 times (from 20 nm to 500 nm) with film thickness of aluminum-silicon alloy increase from 0.2 μm to 1.2 μm due to sputtering time increase, which probably can be explained by substrate temperature rising due to of aluminum-silicon alloy condensation. The substrate temperature rise results in grain size increase.

The grain size and their quantity are practically independent from sputtering power, but they depend on time of continuous residing in plasma burning zone and plates cooling efficiency. In vacuum, the plates' surface has no time for cooling in the process of deposition, which leads to excessive ions mobility of sputtered material, grains formation and growth. The more time

the plates reside in plasma burning zone, the higher the intensity of grains growth.

Keywords: aluminum-silicon alloy films structure, grain size at varying sputtering modes.

References

1. Einspruch N.G., Brown D.M. (Eds.) *VLSI Electronics: Microstructure Science*. Academic Press, Orlando, FL, 1984, vol. 8 "Plasma Processing for VLSI", 527 p.
2. Shiu-Chuan Her, Yi-Hsiang Wang. Temperature effect on microstructure and mechanical properties of aluminum film deposited on glass substrates. *Indian Journal of Engineering and materials sciences*. June 2015, vol. 22, pp. 268-272.
3. Ishiguro Takashi, Miyamura Kazumi. Controllability of Mesoscopic Surface Roughness of Sputtered Al and Al-N Films. *Materials Transactions*, 2005, vol. 46, no. 12, pp. 3037-3043.
4. Antonenko S.V. *Tekhnologiya tonkikh plenok* (Thin films technology), Moscow, MIFI, 2008, 104 p.
5. Dubrovskiy V.G., Tsirlin G.E. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*, 2005, vol. 39, no. 11, pp. 1312-1319.
6. Mayssela L., Glang R. *Tekhnologiya tonkikh plenok* (Thin films technology), Moscow, Sovetskoe radio, 1977, vol. 1 — 664 p., vol. 2 — 770 p.
7. Chopra K.L., Kainthla R.C., Pandya D.K., Thakoor A.P. *Physics of Thin Films*, Academic press, London, 1982, vol. 12, 167 p.
8. Kolomentsev A.I., Zakharov S.A., Yakutin A.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2007, vol. 14, no. 3, pp. 41-47.