Тонкие эпитаксиальные слои $\text{Mn}_x\text{Si}_{1-x}$ как перспективный материал для термоэлектрических преобразователей энергии

Дорохин М.В., Кузнецов Ю.М., Демина П.Б., Ерофеева И.В., Здоровейщев А.В.,
Лесников В.П., Боряков А.В.

Научно-исследовательский физико-технический институт ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 630090,
Нижегород, пр. Гагарина, 23/3

DOI 10.34077/Semicond2019-100

В настоящее время всё большую актуальность приобретает задача формирования тонкоплёночных термоэлектрических материалов. Такие материалы характеризуются высокой компактностью и потому могут быть легко интегрированы даже в предметы повседневного быта (например, в одежду) [1]. Другим преимуществом тонких плёнок, помимо компактности, является низкая эффективность теплопередачи от горячего конца термоэлектрика к холодному из-за малой площади сечения тонкой плёнки. В настоящей работе исследованы возможности метода импульсного лазерного осаждения для получения термоэлектрических плёнок на основе силицида марганца.

Образцы сформированы методом импульсного лазерного осаждения на подложках сапфира при температуре $T = 300^\circ\text{C}$ [2]. Были сформированы и исследованы плёнки двух видов. Плёнки первого вида сформированы поочерёдным распылением мишеней Si и Mn, состав задавался соотношением времён распыления. Плёнки второго вида сформированы распылением объёмной твердотельной мишени с составом, соответствующим высшему силициду марганца $\text{MnSi}_{1,73}$. Состав сформированных плёнок в этом случае соответствовал составу мишени.

В работе исследовались термоэлектрические параметры тонких плёнок: коэффициент Зеебека α , удельное сопротивление ρ , коэффициент теплопроводности λ в диапазоне температур $T = 300\text{--}720\text{ K}$. По полученным данным рассчитывался коэффициент термоэлектрической добротности $ZT = \alpha^2 \cdot T / \rho \lambda$.

Получено, что величина коэффициента Зеебека для плёночных материалов во всём диапазоне температур не превышает 100 мкВ/К , что ниже значений, характерных для объёмного силицида марганца [3]. Низкие значения коэффициента Зеебека несколько снижают величину ZT , с другой стороны следует отметить, что низкая толщина плёнок обеспечит повышение ZT за счёт снижения коэффициента теплопроводности.

Для плёнок, сформированных поочерёдным распылением мишеней, характерно образование капель, состав которых близок к $100\% \text{ Mn}$, или $100\% \text{ Si}$. Наличие капель показано исследованиями на сканирующем электронном микроскопе, их состав измерялся методом рентгеновской энергодисперсионной спектроскопии. Формирование капель на поверхности приводит к снижению коэффициента Зеебека, вероятно, за счёт негативного влияния капель на процессы токопереноса. В плёнках второго вида, сформированных распылением мишени $\text{MnSi}_{1,73}$, образующиеся на поверхности подложки капли имеют тот же состав, что и у мишени, и, поэтому, оказывают меньшее влияние на термоэлектрические свойства. Для таких плёнок были получены наибольшие значения коэффициента ZT , равные $0,1$ при температуре 720 K . Данное значение превышает таковое, полученное для исходной мишени, что связано со снижением коэффициента теплопроводности при наноструктурировании.

Работа выполнена при поддержке российского научного фонда (проект РНФ №17-79-20173).

[1] L.K. Allison, T.L. Andrew. *Adv. Mater. Technol.* 2019, 1800615 (2019).

[2] Е.С. Демидов, Ю.А. Данилов, В.В. Подольский, и др. *Письма в ЖЭТФ*, **83**(12), 664 (2006).

[3] M. Saleemi, A. Famengo, S. Fiameni, et.al. *J. Alloys and compounds* **619**, 31 (2015).