

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК

Довранов Кувондик Туракулвич
Каршинский государственный университет
Gmail: quvondiqdavronm@gmail.com , +998 97 200 17 73

Аннотация. Для разработки устройств и приборов на основе тонких пленок силицидов Co, Mn требуется знание механизма роста пленок на начальных стадиях, а также твердофазных реакций, протекающих в системе $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ повышенных температурах. Изучение электрофизических свойств тонких пленок силицидов CoSi , MnSi , Mn_4Si_7 проводится многими исследователями и остается актуальным и сегодня [1]. В данной работе нами получены тонкие пленки $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ разной толщины при термическом отжиге в следствии высокого вакуума.

Для получения тонких пленок использование в основном методом вакуумного нанесения покрытий. Однако, испарения и конденсации вещества в высоком вакууме, хотя и обеспечивает высокую скорость осаждения, но не обеспечивает достаточный воспроизводимости свойств пленок, особенно при осаждении веществ сложного свойства.

В настоящее время метод осаждения тонких пленок с использованием низкотемпературной плазмы и дают возможность получить пленки качественно, с наноразмерными толщинами. Тонкие пленки $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ выращивались методом ионно-плазменным распылением с использованием ионами аргона [2]. Изучалась их электропроводность, электрическое сопротивление в зависимости от температуры. Для образцов разной толщины измеряли коэффициент прочности.

Ключевые слова: коэффициент Зеебека, удельная теплопроводность, тонкие пленки, силицид марганца, ионно-плазменное напыление.

THERMOELECTRIC PROPERTIES OF THIN FILMS

Dovranov Kuvondik Turakulovich
Karshi State University
Gmail: quvondiqdavronm@gmail.com , +998 97 200 17 73

Annotation. The development of devices and devices based on thin films of Co, Mn silicides requires knowledge of the mechanism of film growth at the initial stages, as well as solid-state reactions occurring in the $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ systems elevated temperatures. The study of the electrical properties of thin films of silicides CoSi , MnSi , Mn_4Si_7 is carried out by many researchers and remains relevant today [1]. In this work, we obtained thin $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ films of various thicknesses during thermal annealing due to high vacuum.

To obtain thin films use mainly the method of vacuum coating. However, evaporation and condensation of a substance in a high vacuum, although it provides a high deposition rate, does not provide sufficient reproducibility of film properties, especially when deposition of substances of complex properties.

At present, the method of thin film deposition using low-temperature plasma makes it possible to obtain films of high quality, with nanoscale thicknesses. Thin films of $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ were grown by ion-plasma sputtering using argon ions [2]. Their electrical conductivity and electrical resistance were studied as a function of temperature. For samples of different thickness, the strength factor was measured.

Keywords: Seebeck coefficient, thermal conductivity, thin films, manganese silicide, ion-plasma spraying.

YUPQA PLYONKALARNING TERMOELEKTRIK XUSUSIYATLARI

Dovranov Quvondiq Turaqulovich

Qarshi Davlat Universiteti

Gmail: quvondiqdavronm@gmail.com , +998 97 200 17 73

Annotatsiya. Co, Mn silisidlarining yupqa plyonkalari asosidagi qurilmalar va qurilmalarni yaratish dastlabki bosqichlarda plyonkaning o'sish mexanizmini, shuningdek $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$ va $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ tizimlari harorat ko'tarilganda sodir bo'ladigan qattiq holat reaksiyalarini bilishni talab qiladi. CoSi , MnSi , Mn_4Si_7 silisidlarining yupqa plyonkalarining elektr xossalarini o'rganish ko'plab tadqiqotchilar tomonidan olib borilmoqda va bugungi kunda ham dolzarb bo'lib qolmoqda [1]. Bu ishda yuqori vakuum tufayli termal tavlaniş jarayonida turli qalinlikdagi yupqa $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ plyonkalarni oldik.

Yupqa plyonkalarni olish uchun asosan vakuumli qoplama usuli qo'llaniladi. Shu bilan birga, yuqori vakuumda moddaning bug'lanishi va kondensatsiyasi, garchi u yuqori cho'kish tezligini ta'minlasa ham, plyonka xususiyatlarining etarli

darajada takrorlanishini ta'minlamaydi, ayniqsa, murakkab xususiyatlarga ega moddalar cho'kganda.

Hozirgi vaqtda past haroratli plazma yordamida yupqa plyonkani cho'ktirish usuli nano o'lchamdagi qalinlikdagi yuqori sifatli plyonkalarni olish imkonini beradi. $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$, $\text{MnSi}/\text{Si}(111)$, $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ ning yupqa plyonkalari argon ionlari yordamida ion-plazma purkash orqali yetishtirildi [2]. Ularning elektr o'tkazuvchanligi va elektr qarshiligi harorat funktsiyasi sifatida o'rganildi. Har xil qalinlikdagi namunalar uchun quvvat omili o'lchandi.

Kalit so'zlar: *Seebek koeffitsienti, issiqlik o'tkazuvchanligi, yupqa plyonkalar, marganets silisidi, ion-plazma bilan purkash.*

Введение. Электрофизические свойства тонких пленок силицида марганца изучаются несколькими исследовательскими группами [3]. Пленки силицидов металлов играют важную роль при разработке новых устройств электроники, в частности оптоэлектронных и термоэлектрических. Например, на основе пленок высших силицидов марганца (ВСМ) могут быть созданы инфракрасные детекторы теплового излучения [4]. Подобные детекторы способны измерять быстрые процессы, связанные с записью данных в запоминающие устройства и передачей данных по различным каналам. Большой коэффициент Зеебека, низкое сопротивление и высокая электропроводность тонких пленок силицидов металлов делают их очень привлекательными для термоэлектрических применений.

Получение тонких пленок силицидов.

Пленки силицидов марганца получены на установке для осаждения материалов методом магнетронного напыления в вакууме VSE-PVD-DESK-PRO, методика осаждения описана в [5]. Напыление проходило при давлении внутри камеры $P=1,2 \cdot 10^{-4}$ торр, установки источника питания $U=526 \pm 5$ в, $I=421$ мА, $N=221$ Вт, $\arcs: 259$ и температура $T = 150^\circ\text{C}$. Давление внутри камеры постоянно контролировалось барометром турбомолекулярного насоса. Толщина пленки контролировалась с помощью кварцевого датчика. Скорость роста пленки составляет $1,5 \div 13,8$ Å/с. В процессе работы было

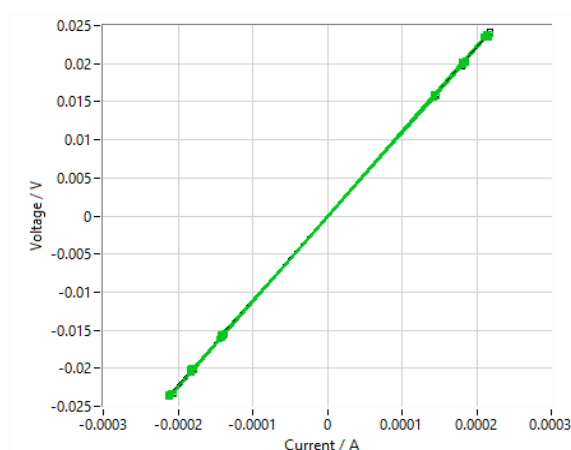
синтезировано 4 серии образцов тонких пленок силицидов марганца с различной толщиной (таб.1)

Таблица-1

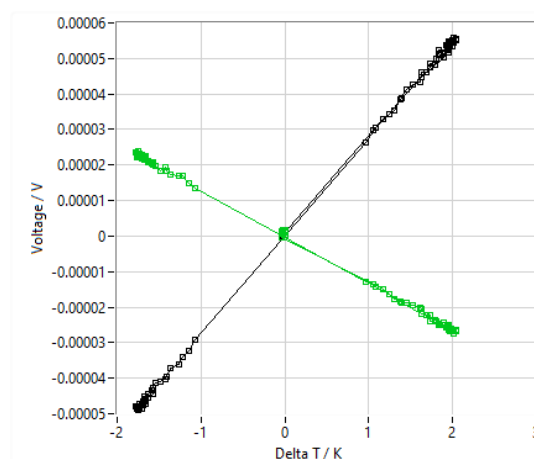
№		образец -1	образец -2	образец -3	образец -4
1	Время осаждения	9 мин	15,5 мин	18 мин	31 мин
2	Толщина пленки	102,3 нм	176,5 нм	202,3 нм	276,5 нм

Геометрические параметры образца могут быть различными: объемный материал, покрытия тонкие пленки, круглые и квадратные образцы [6,7]. Образцы с квадратным сечением наиболее удобны в использовании и результаты измерений достовернее. Перед осаждением поверхность подложки очищалась ионами азота. Поверхность пленки должна быть чистой, чтобы иметь качественную электропроводность [8]. Для осаждения силицидов использовались подложки кремния, далее для проведения измерений электрофизических параметров подложка с синтезированной пленкой разрезалась на образцы с линейными размерами 10x10 мм.

На рисунке 1 представлены типовые зависимости, получаемые в процессе измерения для каждой температурной точки. В процессе эксперимента обеспечивается одновременное изменение электрического напряжения, электрического тока и изменения температуры между электрическими и токовыми зондами.



a)



b)

Рисунок 1. а) ВАХ тонкой пленки $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}$. б) график измерения коэффициента Зеебека

Результаты и их обсуждение.

Для характеризуй термоэлектрической эффективности материалов, необходимо определить коэффициент термоэлектрической эффективности (формула 1) и коэффициент мощности (формула 2).

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{\kappa} \quad (1)$$

$$p = \alpha^2 \sigma \quad (2)$$

где α – коэффициент Зеебека, σ – удельная проводимость, κ – удельная теплопроводность, T – температура.

Было проведено измерение электрофизических параметров синтезированных образцов. Измерены коэффициент Зеебека и удельная электропроводность тонких пленок Mn_4Si_7 , полученных методом ионно-плазменного напыления. Измерения проводились в области температур от 300 до 600 К. На рисунке 2 приведены температурные зависимости удельной электропроводности образцов пленок Mn_4Si_7 .

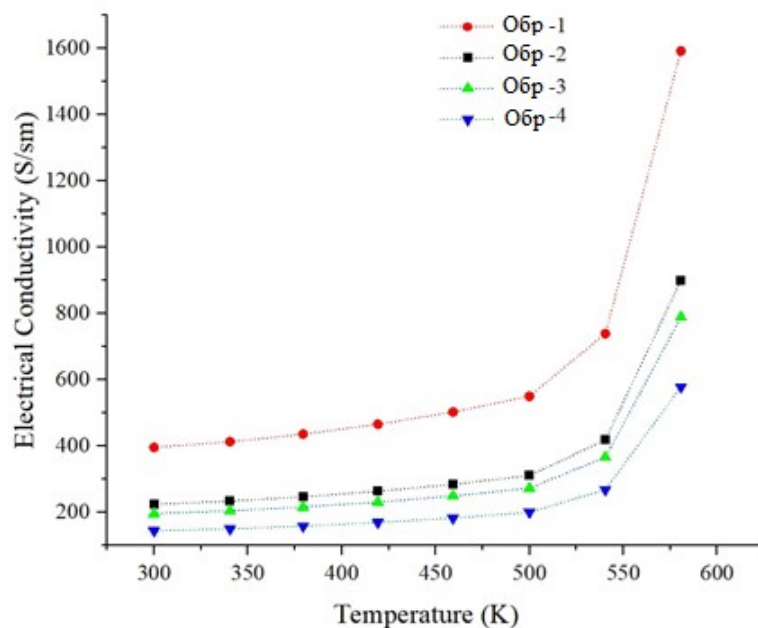


Рисунок 2. Температурная зависимость электрической проводимости образцов пленок Mn_4Si_7

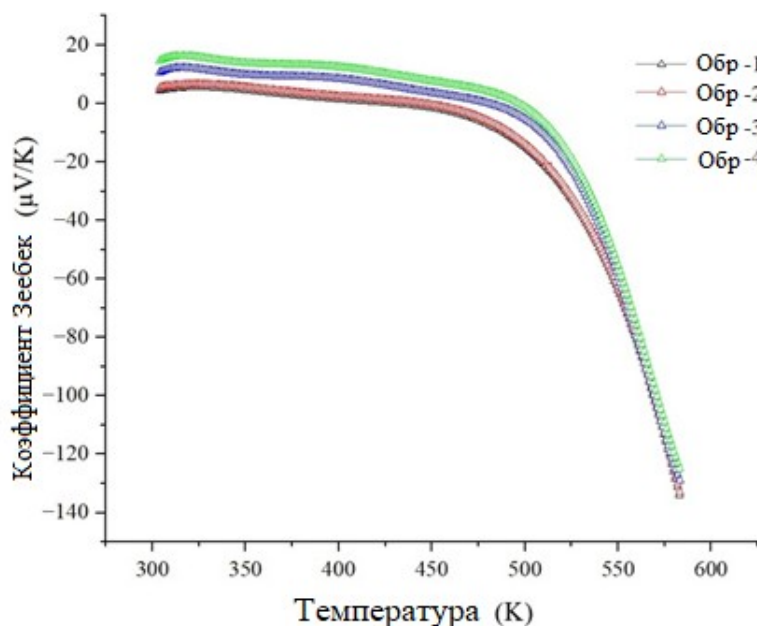


Рисунок 3. Температурная зависимость коэффициента Зеебека образцов пленок Mn_4Si_7

Результат показывает, что пленка Mn_4Si_7 , выращенная на поверхности кремния, обладает свойствами полуметалла. На рисунке 3 представлены температурные зависимости коэффициента Зеебека для синтезированных образцов.

Заключение

В этой работе мы сформировали тонкие нанометровые слои $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, выращенные ионно-плазменным методом на различных кремниевых подложках при разных температурах роста, и проанализировали электрические свойства полученных слоев. Электропроводность, коэффициент прочности и электрическое сопротивление тонких пленок $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$ различной толщины гасились в диапазоне температур 300–600 К. Наибольшее значение коэффициента мощности составляет $3690,91 \mu\text{Вт/м}\cdot\text{K}^2$ при 287°C . Оптимальной температурой для тонких пленок $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, выращенных на кремниевой подложке, можно считать 540–600 К. Полученные результаты показывают, что электрическая проводимость

увеличивается с уменьшением толщины пленки на поверхности кремния. Это может служить для повышения чувствительности ИК-детекторов.

Список литературы

1. Ерофеева И.В., Дорохин М.В., Лесников В.П., Здоровейщев А.В., Кудрин А.В., Павлов Д.А., Усов Ю.В. Кристаллическая структура и термоэлектрические свойства тонких слоев MnSi_x . *Физика и техника полупроводников*, 2016, том 50, вып. 11.
2. Hou Q.R., Zhao W., Chen Y.B., and He Y.J. Preparation of n-type higher manganese silicide films by magnetron sputtering. *International Journal of Modern Physics B*. Vol. 23, No. 16 (2009) 3331–3348
3. Кузнецова В.С., Зайцев В.К., Соломкин Ф.Ю., Новиков С.В. Анизотропия термоэдс в высших силицидах переходных металлов. *Физика и техника полупроводников*, 2017, том 51, вып. 8.
4. Kurosawa M., Nakatsuka O.. (Invited) Thermoelectric Properties of Tin-Incorporated Group-IV Thin Films. *ECS Transactions*, 104 (4) 183-189 (2021)
5. Dovranov K.T., Normuradov M.T., Ulashov A.A., Doniyorova I. Electrophysical properties of nanofilms. Educational Research in Universal Sciences ISSN: 2181-3515. VOL.2. ISSUE.2. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 2023, pp.192-195.
6. Golubev R.M., Buslaev R.D., Bakulin E.M., and Dzyubanenko S.V. Thermoelectric properties of bismuth telluride synthesized by electrochemical deposition method. IOP Conf. Series: *Journal of Physics: Conf. Series* 1326 (2019)
7. Ерофеева И.В., Дорохин М.В., Лесников В.П., Кузнецов Ю.М., Здоровейщев А.В., Пителимова Е.А. Термоэлектрические эффекты в наноразмерных слоях силицида марганца. *Физика и техника полупроводников*, 2017, том 51, вып. 11.
8. M.T. Normuradov, D.A. Normurodov, K.T. Davronov. Creation of new materials based on dielectric films using low-energy ion implantation. *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*, 1(6), 8. (2019).

