

**УДК 539.23**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ОСАЖДЕНИИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Екатерина Сергеевна Герасимова<sup>(1)</sup>, Глеб Николаевич Дубровин<sup>(2)</sup>, Александр Евгеньевич Шупенёв<sup>(3)</sup>

*Студент 5 курса<sup>(1)</sup>, студент 6 курса<sup>(2)</sup>, аспирант 3 года<sup>(3)</sup>  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Богданов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Термоэлектрические явления в твердых телах находят применение в различных областях техники. Эффект Зеебека (термо-ЭДС) используется для преобразования тепловой энергии в электрическую. Перенос тепла электрическим током (эффект Пельтье) лежит в основе действия твердотельных охлаждающих и термостатирующих устройств[1].

Многие задачи, которые практика ставит перед разработчиками термоэлектрических устройств, могут быть успешно решены с применением пленочных термоэлементов (ПТЭ) и пленочных термобатарей (ПТБ)

Специфические проблемы возникают при разработке конструкций ПТБ. Большое влияние оказывает паразитный теплоперенос по подложке и теплообмен с окружающей средой. Последний обусловлен сильно развитой поверхностью термоэлектрических ветвей; их длина и ширина на несколько порядков превосходят толщину. К указанным проблемам следует добавить принципиальную сложность подвода и съема тепла при малой (порядка нескольких микрон) толщине термоэлементов.

Толщина осаждённых термоэлектрических материалов ограничивается с одной стороны резким ростом электрического сопротивления, а с другой – значением деформаций, возникающих при эксплуатации пленки. Поэтому технологические рекомендации должны быть составлены в зависимости от типа и назначения разрабатываемого устройства, в состав которого входит тонкопленочный ТЭМ. Для составления подобных рекомендаций была подготовлена математическая модель и проведён ряд экспериментов.

Форма фокального пятна влияет на пространственную структуру течения пара и профиль толщины пленки, образующейся при конденсации пара на подложке. Чтобы оценить это влияние достаточно вычислить поток вещества в месте расположения подложки, т.е. при  $z=z_g$ . Этот поток определяется как  $j=rv_z$ , где плотность и соответствующая компонента скорости находятся из частного решения газодинамической задачи.

Современные тенденции к миниатюризации в микроэлектронике ставят задачу получения термоэлектрического материала в виде пленок. Традиционными технологиями получить наноразмерную пленку трехкомпонентного твердого раствора на основе теллурида висмута не представляется возможным. Для решения этой задачи перспективен метод импульсного лазерного осаждения. Одним из принципиально важных параметров является толщина пленки, обуславливающая физические и эксплуатационные качества устройства.

Нами была опробована модель описания профиля осажденного материала на основе газодинамической модели Анисимова-Лукьянчука. Данная модель позволяет рассчитать профиль осажденного материала при известных свойствах разлета плазмы и геометрии процесса. Данная расчетная модель была сопоставлена с экспериментально полученными данными о характере распределения толщины пленки, а также с помощью метода массового контроля.

Установлено соответствие между теоретическими и экспериментальными значениями и степень их соответствия составляет не менее 80%. Предполагается, что расхождение обусловлено принятыми в расчетной модели допущениями и погрешностями измерений.

### Литература

1. Гольцман Б.М., Дашевский З.М., Кайданов В.И., Колмоец Н.В. Пленочные термоэлементы: физика и применение. М.: Наука, 1985. 233 с.
2. Устройство термоэлектрического модуля (Элемента Пельтье). Режим доступа: <http://kryothermtec.com/ru/technology> (дата обращения 16.03.2015)
3. Stachowiak H., Lassue S., Dubernard A., Gaviot E. A thermoelectric sensor for fluid flow measurement. Principles, calibration and solution for self temperature compensation // Flow Measurement and Instrumentation. V.9. №3. 1998. P. 135–141.
4. Rettig F., Moos R. Direct thermoelectric gas sensors: Design aspects and first gas sensors // Sensors and Actuators B. V.143. №1. 2007. P. 413–419.
5. Buchner R., Froehner K., Sosna Ch., Benecke W., Lang W. Toward Flexible Thermoelectric Flow Sensors: A New Technological Approach // Journal of Microelectromechanical Systems. V. 17. № 5. 2008. P.1114–1119.
6. Григорьянц А.Г., Мисюров А.И., Шупенев А.Е. Особенности формирования субмикронных пленок теллурида висмута методом импульсного лазерного осаждения // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 6. Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/machin/laser/234.html> (дата обращения 16.03.2015).
7. Randjelovic D., Petropoulos A., Kaltsas G., Stojanovic M., Lazic Z., Djurić Z., Matic M. Multipurpose mems thermal sensor based on thermopiles // Sensors and Actuators A: Physical V. 141. № 2. 2008. P. 404-413.
8. Ю.А. Быков, С.Д. Карпухин, Е.И. Газукина. О некоторых особенностях структуры и свойств металлических «тонких» плёнок // МиТОМ. 2000. №6. С.45-47.
9. Анисимов С.И., Лукьянчук Б.С. Избранные задачи теории лазерной абляции // Успехи физических наук Т. 172. №3. с322.