

С.Сейфуллиннің 125 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 15: Жастар, ғылым, технологиялар: жаңа идеялар мен перспективалар» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 15: Молодежь, наука, технологии – новые идеи и перспективы», приуроченной к 125-летию С.Сейфуллина. -2019. - Т.II, Ч 1 - С.244-246

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПУТИ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ

Жалғасбаева М.А., Шуренова М.Е

Получение и преобразование энергии - одно из важнейших направлений деятельности современной цивилизации, лежащее в самой основе её существования. Поскольку наиболее удобная и универсальная форма энергии для практических применений - электрическая, то особое значение имеет разработка наиболее эффективных методов её получения, и поиск таких методов никогда не останавливался. Весьма остро встал вопрос о повышении эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую из-за ощущаемой в настоящее время нехватки ископаемых видов топлива и выброса тепловыми электростанциями огромного количества газов, вызывающих парниковый эффект и глобальное изменение климата [1].

Большое внимание было обращено в этой связи на твердотельные термоэлектрические преобразователи. Последние имеют ряд преимуществ перед традиционными электрическими генераторами: простота конструкции, отсутствие движущихся частей, бесшумность работы, высокая надёжность, возможность миниатюризации без потери эффективности. Они используются и в экологически чистых холодильных агрегатах, поскольку преобразование энергии с их помощью возможно в обоих направлениях. Однако сегодня обеспечиваемая термоэлектрическими устройствами эффективность преобразования ниже, чем у электрических генераторов или холодильников обычной конструкции, и поэтому они не получили широкого распространения в промышленности. В то же время имеется ряд областей применения, где их достоинства перевешивают их недостатки. Они используются как источники электричества на космических аппаратах и в наручных часах, применяются в портативных холодильных агрегатах в быту, в электронном, медицинском и научном оборудовании, в частности для охлаждения инфракрасных приёмников и оптоэлектронных устройств, и даже для кондиционирования сидений в автомобилях высшего класса. Однако для по-настоящему широких промышленных применений термоэлектрических преобразователей энергии необходимо существенное повышение их эффективности [2].

Основной характеристикой термоэлектрического материала, определяющей функциональную пригодность и эффективность

изготавливаемых на его основе преобразователей энергии, является его добротность (термоэлектрическая эффективность), имеющая размерность обратной температуры, которая зависит только от физических свойств материала преобразователя:

$$T = \alpha^2 \sigma / \kappa, \quad (1)$$

где α - коэффициент термоэдс; σ - электропроводность; κ - теплопроводность.

При повышении термоэлектрической эффективности энергетические характеристики устройств улучшаются. Величины α , σ и κ в свою очередь зависят от основных физических параметров вещества, таких, как теплопроводность решетки κ_r , подвижность μ , и эффективная масса m^* носителей заряда.

Основные принципы оптимизации термоэлектрических материалов:

. Увеличение электропроводности (увеличение подвижности носителей тока) материала;

. Увеличение коэффициента Зеебека (увеличение плотности состояний вблизи уровня Ферми) в материале;

. Уменьшение теплопроводности материала за счет рассеяния фононов на границах зерен.

Максимальной величине Z соответствует определенная концентрация носителей заряда, которая достигается введением легирующих примесей или же смещением состава материала относительно стехиометрического. Таким образом, получение высокоэффективных термоэлектрических материалов на основе Bi_2Te_3 связано с исследованием их физико-химических свойств и определением легирующего действия примесей, с изучением явлений переноса, зонной структуры и влияния технологических условий на структуру и свойства. Согласно приведённой формуле (1) высококачественный термоэлектрический материал должен одновременно иметь высокую электропроводность, большую термоЭДС и низкую теплопроводность. ТермоЭДС и проводимость определяются только электронными свойствами материала, теплопроводность, напротив, есть сумма электронного вклада κ_e и теплопроводности кристаллической решетки κ_r . Теплопроводность электронного газа - наоборот, если нет взаимодействия с решеткой, то, сколько электронный газ получил энергии, столько он ее и перенес. При очень сильном взаимодействии с решеткой электрон получает энергию, но фактически не переносит ее. Согласно закону Видемана - Франца электропроводность σ прямо пропорциональна электронной теплопроводности κ_e . Увеличение проводимости сопровождается не только ростом электронной теплопроводности, но и обычно падением термоЭДС, так что оптимизировать величину ZT оказывается не просто. В природе нет таких материалов, которые имели бы одновременно большие значения термоЭДС и малые значения теплового

сопротивления. Противоречие заключается в том, что высокую электропроводность обеспечивают электроны за счет слабого взаимодействия с кристаллической решеткой, но и доля теплоты, которую переносят электроны, очень значительна. Поэтому существует задача создания материала с высокой термоэлектрической добротностью, т.е. с оптимальными коэффициентами термоЭДС, теплопроводности и электропроводности [3].

В последние десятилетия достигнуты высокие значения термоэлектрической эффективности $Z=3,2 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ на материале, полученном методом вертикальной зонной плавки за счет, использования анизотропии кристаллической решетки (для электропроводности σ р-типа она достигает $2 \div 3$, а для σ п-типа - $4 \div 6$). При этом надо отметить, что в общей массе термоэлектрические параметры материала п-типа всегда уступают таковым для материала р-типа проводимости. Однако, материал, полученный зонной плавкой, имеет очень низкие механические свойства из-за раскалывания кристаллов по плоскостям спайности, между которыми преобладают ван-дер-ваальсовские силы связи, что ведёт к большим потерям материала при механической обработке. Поэтому весьма привлекательным и перспективным остается метод горячей экструзии, который позволяет получать стержни термоэлектрического материала нужной конфигурации и с достаточно высокими величинами термоэлектрической эффективности $Z \geq 2,8 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ для п-типа проводимости и $Z \geq (3,0 \div 3,2) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ для р-типа проводимости (что соответствует мировому уровню). Экструдированный материал по механическим свойствам в 2-3 раза превышает материал после зонной плавки.

В настоящее время широкую популярность получило изготовление и изучение объёмных наноструктурированных термоэлектрических материалов. Увеличение термоэлектрической эффективности в наноструктурированных термоэлектриках в основном связано с уменьшением решёточной теплопроводности в результате возрастания рассеяния фононов на границах нанозёрен и структурных дефектах внутри зёрен [4].

Научный руководитель: Соболева Л.А., ст. преподаватель, магистр

Список литературы

1. Мельников М.Я., Трахтенберг Л.И. Синтез, строение и свойства металл/полупроводник содержащих наноструктурированных композитов, Москва: Техносфера, 2016.-614 с.
2. Bulat L., Pshenai-Severin D., Karatayev V., Osvenskii V., Parkhomenko Y., Lavrentev M., Sorokin A., Blank V., Pivovarov G., Bublik V., Tabachkova N. BulknanocrystallinethermoelectricsbasedonBi-Sb-Tesolidsolution. In: Hashim A.A. (ed.) The Delivery of Nanoparticles. InTech, 2012. P. 486.
3. Бублик В.Т., Драбкин И.А., Каратаев В.В., Лаврентьев М.Г., Освенский В.Б., Булат Л.П., Пивоваров Г.И., Сорокин А.И., Табачкова Н.Ю.

Объемный наноструктурированный термоэлектрический материал на основе $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$, полученный методом искрового плазменного спекания (SPS) / Труды межгосударственного семинара «Термоэлектрики и их применения». Санкт-Петербург, 2013.

4. Yousuf, Saleem; Gupta, D. C. Unravelling the magnetism, high spin polarization and thermoelectric efficiency of ZrFeSi half-Heusler. *PHYSICA B-CONDENSED MATTER* Том: 534, APR 1 2018