

3. Согласно нашим испытаниям и исследованиям ряда авторов, снижение октанового числа на 1 единицу, приводит к увеличению расхода топлива порядка 1,5%.

Литература

1. Гуреев А.А., Серегин Е.П., Азев В.С. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив. М, Химия, 1984.- 200 с.
2. Белянин Б.В., Эрих В.Н., Корсаков В.Г. Технический анализ нефтепродуктов. Л.: Химия, 1986. - 184с.
3. Стуканов В.А. Автомобильные эксплуатационные материалы. М.: Форум – Инфра-М, 2002.-105 с.

УДК 621.36: 544.23

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО СВИНЦОВО-СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА, ЛЕГИРОВАННОГО ДИОКСИДОМ ВАНАДИЯ

Я.О. Шабловский, В.В. Киселевич

*Гомельский государственный технический университет
им. П.О. Сухого, Гомель, Белоруссия
ya.shablowsky@yandex.ru; valentinkis@list.ru*

Резюме: Рассмотрена возможность термоэлектрического применения легированных оксидных стёкол. Выполнен сравнительный анализ структурных и физико-химических характеристик известного (диоксид рутения) и рассматриваемого в качестве возможной альтернативы (диоксид ванадия) легирующих компонентов свинцово-силикатного стекла. Произведена численная оценка термоэлектрической добротности изученных материалов.

Ключевые слова: термоэлектрическая добротность; кристаллическая структура; свинцово-силикатное стекло; диоксид ванадия.

Abstract: The possible thermoelectric application of the doped oxide glasses is considered. The comparative analysis of the structural and physicochemical characteristics of ruthenium and vanadium dioxides as alloying components for lead-silicate glass is performed.

Numerical estimation of the thermoelectric factor of merit for studied materials is produced.

Keywords: thermoelectric factor of merit; crystalline structure; lead-silicate glass; vanadium dioxide.

Основным показателем, определяющим эффективность работы термоэлектрического преобразователя энергии, является добротность ZT материала, применяемого в качестве активной термоэлектрической среды. Из известного соотношения

$$ZT = \frac{\sigma k_s^2 T}{\Lambda}$$

следует, что при данной рабочей температуре T термоэлектрическая добротность будет наибольшей при высоких значениях электропроводности σ и термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.) k_s и при низкой теплопроводности Λ . Принято считать, что такое сочетание параметров свойственно неорганическим полупроводниковым материалам кристаллического строения, к изучению которых традиционно приковано внимание подавляющего числа авторов. Однако производство таких термоэлектриков затратно не только в силу сравнительной дороговизны исходных веществ (Bi, Sb, Se, Te), но и вследствие технологических трудностей производства материалов с заданными характеристиками: все эти "традиционные" термоэлектрические соединения суть бертоллиды, вследствие чего их эксплуатационные характеристики, вообще говоря, невоспроизводимы.

Набор эффективных термоэлектриков, способных удовлетворять запросам практики, можно расширить за счёт "привлечения" материалов, обладающих более стабильными характеристиками. Проанализируем такую возможность применительно к оксидным стёклам. Ниже мы убедимся, что термоэлектрическая эффективность силикатных стёкол, легированных оксидами переходных металлов, может не только сравниться с таковой для промышленных термоэлектриков, но и превзойти её.

Первые обнадёживающие выводы были сделаны в работах [1, 2], посвящённых исследованию свинцово-силикатного стекла $2\text{SiO}_2 \cdot \text{PbO}$, легированного диоксидом рутения RuO_2 (РЛС). Это

стекло обладает достаточно редким сочетанием структурных и физико-химических характеристик, которое и определяет высокие термоэлектрические показатели РЛС. Однако редкость и довольно высокая стоимость рутения препятствуют широкому применению РЛС в качестве активной среды термопреобразователей. В работах [3, 4] предлагалось преодолеть это затруднение посредством замены RuO_2 диоксидом марганца MnO_2 и оксидом железа Fe_2O_3 . Однако авторы [3, 4] не привели значения добротности ZT получаемых термоэлектриков, что оставило открытым вопрос о возможности замены диоксида рутения более дешёвыми аналогами. Нами проанализирована возможность использования диоксида ванадия VO_2 в качестве легирующего компонента стекла $2\text{SiO}_2\cdot\text{PbO}$.

Отправной точкой нашего анализа является сопоставление структурных и физико-химических характеристик оксидов RuO_2 и VO_2 (таблицы 1 и 2). Ссылки на использованные литературные источники [5–17] указаны в крайнем правом столбце каждой таблицы. Значения электро- и теплопроводности, приведённые в ячейках таблицы 1 над и под чертой, относятся к температурам 300 и 500 К соответственно; ионные радиусы указаны для заряда "+4". Значения σ , Λ , k_s и ZT соответствуют температурам 430 К для VO_2 и 300 К для RuO_2 .

При $T > 373$ К RuO_2 и VO_2 кристаллизуются в тетрагональной структуре типа рутила и, как видно из таблицы 2, имеют близкие значения основных параметров кристаллической решётки. Наряду с этим, близость геометрических характеристик атомов V и Ru позволяет ожидать у стекла, легированного ванадием (ВЛС), механизм диффузионного легирования, подобный наблюдаемому у РЛС [2]. В этом случае процесс диффузии атомов ванадия в структуру стекла должен предполагать расщепление первой координационной сферы атомов свинца Pb, образуемой атомами кислорода O, и последующее парциальное внедрение атомов V во вторую координационную сферу атомов Pb. При этом данный процесс будет сопровождаться перестройкой связей Pb–O в связи вида Pb–O–V. Приблизительно вдвое меньшая по сравнению с рутением атомная масса ванадия будет способствовать повышению коэффициента диффузии и, как следствие,

установлению требуемого уровня электропроводности легированного стекла при меньшей температуре.

Ожидаемую структуру ВЛС можно рассматривать как изолирующую аморфную среду (стеклянную матрицу), внутри которой равномерно распределены проводящие области, образованные квазикристаллическими частицами исходного легирующего диоксида и атомами его металла, диффундировавшими в размягчённое стекло в процессе легирования. Перенос заряда в проводящих диффузионных областях будет осуществляться посредством обмена электронами между разнозарядными ионами легирующего вещества [2, с. 129]. При этом переменная валентность, проявляемая ванадием в его соединениях, будет способствовать повышению электропроводности ВЛС [4].

Таблица 1 – Структурные и физико-химические характеристики ванадия и рутения

Характеристика	Металл		Источник литературы
	Ванадий	Рутений	
Атомная масса, а.е.м.	50,94	101,07	[5], [6]
Атомный объём, см ³ /моль	8,36	8,13	
Атомный радиус, Å	1,34	1,34	
Ионный радиус, Å	0,61	0,62	
3, 4 и 5 потенциалы ионизации атомов, эВ	29,7; 48,0; 65,2	30,3; 47,0; 63,0	
Валентность	от +2 до +5	от 0 до +8	
Электронная конфигурация	3d ³ 4s ² (⁴ F _{3/2})	4d ⁷ 5s (⁵ F ₅)	
Кристаллическая структура	кубическая	гексагональная	
Температура плавления, К	2190	2523	[7], [8]
Электропроводность σ , 10 ⁶ См/м	$\frac{4,95}{2,87}$	$\frac{13,46}{7,58}$	
Теплопроводность Λ , Вт/(м·К)	$\frac{30,7}{32,2}$	$\frac{109}{103}$	

Таблица 2 – Структурные и физические характеристики диоксидов ванадия и рутения

Характеристика			Оксид		Источник литературы
			β -VO ₂	RuO ₂	
Кристаллическая структура			тетрагональная		[6, с. 60], [10], [11]
Пространственная группа			$P4_2/mnm$		
Параметры кристаллической решётки	Размеры ячейки a/c , Å		4,55/2,85	4,51/3,11	
	Кратчайшие межатомные расстояния, Å	M–O (M = V, Ru)	1,95	1,98	
		O–O	2,50	2,42	
Температура плавления, К			1818	1400	[12, с. 62–64]
Электропроводность σ , 10 ⁶ См/м			0,5	2,5	[13], [14, с. 103]
Теплопроводность Λ , Вт/(м·К)			4,9	50	[15], [16]
Термо-э.д.с. $ k_s $, 10 ⁻⁶ В/К			30	4	[11], [17]
Добротность ZT			$3,9 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	–

По данным [2, с. 225] прогнозируемая термоэлектрическая добротность РЛС при температуре $T = 800$ К составляет $ZT = 0,8$. Это значение вполне сопоставимо с добротностью классических средне- и высокотемпературных термоэлектрических материалов: для РbТе при $T = 673$ К $ZT = 1,01$ [18, с. 258]; для твёрдого раствора Si_{0,7}Ge_{0,3} при $T = 1048$ К $ZT = 0,734$ [18, с. 260].

Прогнозируемые значения основных термоэлектрических характеристик ВЛС для температурного интервала $700 \div 800$ К варьируются в следующих пределах: $\sigma = (2,6 \div 3,2) \cdot 10^3$ См/м, $\Lambda = 1,4 \div 1,7$ Вт/(м·К) и $|k_s| = (560 \div 680) \cdot 10^{-6}$ В/К. Прогнозная оценка указанных параметров выполнена посредством корреляционного анализа, предполагающего учёт взаимосвязей между структурными и физико-химическими характеристиками

легированного свинцово-силикатного стекла, потенциально ответственными за формирование его термоэлектрических свойств. Прогнозирование базировалось на привлечении представленных в таблицах 1, 2 данных и заимствованных из работ [1–4] сведений о транспортных и термоэлектрических свойствах стёкол, легированных оксидами рутения, марганца и железа. Термоэлектрическая добротность ВЛС, рассчитанная для средних значений спрогнозированных характеристик, при температуре $T = 750 \text{ К}$ равна $ZT = 0,539$.

Список использованных источников

1. Проявление структурных превращений микрокристаллитов в свинцово-силикатном стекле, легированном двуокисью рутения / Г. Абдурахманов [и др.] // Узбекский физический журнал. – 2005. – Т. 7, № 3. – С. 197–203.
2. Абдурахманов, Г. Особенности структуры и транспортных свойств бесщелочных свинцово-силикатных стёкол, легированных оксидами металлов: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07 / Г. Абдурахманов. – Ташкент, 2014. – 267 л.
3. Абдурахманов, Г. Электропроводность свинцово-силикатного стекла, легированного оксидом марганца / Г. Абдурахманов, С. А. Маматкулова // II Республиканская конференция молодых физиков Узбекистана: сб. докл., Ташкент, 25–26 нояб., 2008 г. / Институт ядерной физики АН РУз; ред.: У. С. Салихбаев [и др.]. – Ташкент, 2008. – С. 207–215.
4. Абдурахманов, Г. Электропроводность свинцово-силикатного стекла, легированного оксидом железа / Г. Абдурахманов, Н. Г. Абдурахманова // II Республиканская конференция молодых физиков Узбекистана: сб. докл., Ташкент, 25–26 нояб., 2008 г. / Институт ядерной физики АН РУз; ред.: У. С. Салихбаев [и др.]. – Ташкент, 2008. – С. 215–221.
5. Свойства элементов. Справочник в 2 ч. Ч. 1. Физические свойства / Под ред. Г. В. Самсонова. – Москва: Металлургия, 1976. – 600 с.
6. Химия рутения / О. Е. Звягинцев [и др.]. – Москва: Наука, 1965. – 300 с.

7. Desai, P. D. Electrical resistivity of vanadium and zirconium / P. D. Desai, H. M. James, C. Y. Ho // *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. – 1984. – Vol. 13, № 4. – P. 1097–1130.
8. Powell, R. W. The thermal conductivity and electrical resistivity of polycrystalline metals of the platinum group and of single crystals of ruthenium / R. W. Powell, R. P. Tye, M. J. Woodman // *Journal of the Less Common Metals*. – 1967. – Vol. 12, № 1. – P. 1–10.
9. Ho, C. Y. Thermal conductivity of the elements: a comprehensive review / C. Y. Ho, R. W. Powell, P. E. Liley // *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. – 1974. – Vol. 3, suppl. № 1. – P. 719.
10. Westman, S. Note on a phase transition in VO_2 / S. Westman // *Acta Chemica Scandinavica*. – 1961. – Vol. 15, № 1. – P. 217.
11. Bongers, P. F. Anisotropy of the electrical conductivity of VO_2 single crystals / P. F. Bongers // *Solid State Communications*. – 1965. – Vol. 3, № 9. – P. 275–277.
12. Физико-химические свойства окислов. Справочник / Под ред. Г. В. Самсонова. – Москва: Металлургия, 1978. – 472 с.
13. Berglund, C. N. Electronic properties of VO_2 near the semiconductor-metal transition / C. N. Berglund, H. J. Guggenheim // *Physical Review*. – Vol. 185, № 3. – P. 1022–1033.
14. Rao, C. N. R. Transition metal oxides. Crystal chemistry, phase transition and related aspects (Nat. stand. ref. data ser.; NSRDS-NBS 49) / C. N. R. Rao, G. V. S. Rao. – Washington: U.S. Government Publishing Office, 1974. – 130 p.
15. Thermal conductivity of VO_2 , V_3O_5 , and V_2O_3 / V. N. Andreev [et al.] // *Physica status solidi. A*. – 1978. – Vol. 48, № 2. – P. K153–K156.
16. Determination of the room temperature thermal conductivity of RuO_2 by the photothermal deflection technique / D. Ferizović [et al.] // *Applied Physics Letters*. – 2009. – Vol. 94, № 13. – P. 131913-1–131913-3.
17. On the solubility of yttrium in RuO_2 / D. Music [et al.] // *Journal of Applied Physics*. – 2011. – Vol. 110, № 5. – P. 054317-1–054317-6.

18. Анатычук, Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник / Л. И. Анатычук. – Киев: Наукова Думка, 1979. – 768 с.

УДК 697.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ

А.Я. Джумаев, Я. Якубов, Э.Атаев

*Государственный энергетический институт Туркменистана,
Государственный концерн «Туркменгаз», Туркменистан
A.JUMAYEV_tm@mail.ru*

Аннотация

Рассмотрены принципы использования солнечных коллекторов в индивидуальных жилых домах. Даны характеристики современных солнечных коллекторов, рассмотрена область применения и принцип их работы. Приведены конкретные примеры использования для индивидуального жилищного строительства на примере экспериментального жилого дома с автономным энергоснабжением.

Ключевые слова: солнечная энергия, солнечный коллектор, экспериментальный жилой дом, автономное энергоснабжение.

Abstract

Principles of use of solar collectors in individual apartment houses are considered. Characteristics of modern solar collectors are given, the scope and a principle of their work is considered. Concrete examples of use for individual housing construction on an example of an experimental apartment house with independent power supply are resulted.

Key words: solar energy, solar collector, experimental apartment house, independent power supply.