

4. Комаров, Ф.Ф. Температурные поля и трекообразование в материалах, облучаемых ионами высоких энергий / Ф.Ф. Комаров, А.И. Урбанович // Доклады НАН Беларуси. – 2005. – Т.49, №1. – С.54–57.
5. Комаров, Ф.Ф. Нано- и микроструктурирование твердых тел быстрыми тяжелыми ионами / Ф.Ф. Комаров // УФН. – 2017. – Т.187, №5. – С.465–509.
6. Скуратов, В.А. Модификация поверхности Al_2O_3 высокоэнергетическими ионами висмута / В.А. Скуратов, А.Е. Ефимов, Д.Л. Загорский // ФТТ. – 2002. – Т.44, №1. – С.165–169.
7. Комаров, Ф.Ф. Модель термического пика для описания трекообразования в кристаллах полупроводников облучаемых тяжелыми высокоэнергетическими ионами / Ф.Ф. Комаров, В.Н. Ювченко // ЖТФ. – 2003. – Т.73, №6. – С.56–60.
8. Klaumünzer, S. Ion tracks in quartz and vitreous silica / S. Klaumünzer // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. – 2004. – Vol.225, №1-2. – P.136–153.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МАТЕРИАЛАМИ

**Ж. З. Шерматов¹, М. С. Пайзуллаханов¹, Э. З. Нодирматов¹, О. Т. Ражаматов¹,
Ф. Н. Эрнazarov¹, М. Т. Сулайманов¹, Ф. Нурматов¹, Ш. Й. Махмудов¹, Н. Н. Черенда²**

¹⁾ *Академия наук Республики Узбекистан, Институт Материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз,
e-mail: shermatov-82@bk.ru, e-mail: fayz@bk.ru*

²⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: cherennda@bsu.by*

Солнечных технологий обуславливают экономический эффект от применения плавящего на Большой Солнечной Печи материала в производстве ситалловых изделий. Расчеты показывают, что удельный расход электроэнергии традиционного стекловарения составляет порядка 1,6 кВт*час/кг. Для получения 100 кг стекла тратится 160 кВт *час электрической энергии. А удельный расход электроэнергии при работе солнечной печи составляет 12 кВт*час. За один солнечный день на можно плавить базальтовые отходы в количестве до 500 кг, при расходе электрической энергии 50 кВт*час. Разница в расходе электрической энергии традиционной и солнечной печей составляет в 15 раза.

Ключевые слова: концентрированный поток; солнечная печь; взаимодействие; излучение; расплав; охлаждение.

INTERACTION OF CONCENTRATED SOLAR RADIATION WITH MATERIALS

**Zh. Z. Shermatov¹, M. S. Payzullakhanov¹, E. Z. Nodirmatov¹, O. T. Rajamatov¹,
F. N. Ernazarov¹, M. T. Sulaimanov¹, F. Nurmatov¹, Sh. Y. Makhmudov¹, N. N. Cheren²**

¹⁾ *Uzbekistan Academy of science Institute of Material Sciences SPA “Physics-Sun”*

²⁾ *Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus*

Corresponding author: Zh. Z. Shermatov (shermatov-82@bk.ru)

Solar technologies determine the economic effect from the use of melted material in the Large Solar Furnace in the production of sital products. Calculations show that the specific power consumption of traditional glass making is about 1.6 kW * h / kg. To obtain 100 kg

of glass, 160 kW * hour of electric energy is spent. And the specific power consumption during the operation of the solar oven is 12 kW * hour. In one sunny day, you can melt basalt waste in an amount of up to 500 kg, with an electrical energy consumption of 50 kW * h. The difference in electrical energy consumption between traditional and solar stoves is 15 times.

Key words: concentrated flux; solar furnace; interaction; radiation; melt; cooling.

ВВЕДЕНИЕ

Перспективы развития энергетики и повышения эффективности материаловедения связаны с расширением использования возобновляемых источников энергии, в частности энергии Солнца. В настоящее время во всем мире уделяется особое внимание проблемам получения материалов с высокими механическими и диэлектрическими свойствами методом направленной кристаллизации расплава, полученного с использованием гелиоустановок. В области создания материалов на базе солнечных технологий отмечено, что таковые, в отличие от традиционных источников энергии, позволяют в сотни раз повысить скорость нагрева, получать и фиксировать расплавы с определенным составом кластерного строения и, тем самым, получать материалы с заданными механическими и диэлектрическими свойствами. В этом аспекте исследование процессов взаимодействия концентрированного солнечного излучения с материалами считается одной из основных и актуальных задач создания нового вида материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методы, основанные на энергии высокой плотности, такие как лазеры, плазменные и электронно-лучевые или дуговые технологии, используемые при обработке поверхности материалов с целью повышения их стойкости к истиранию и коррозии, имеют низкую эффективность. В 1999 году французский физик Flamant из анализа эффективности использования лазерной, плазменной и солнечной технологий показал, что солнечные технологии имеют высокую техническую и экономическую эффективность в процессах синтеза высокотемпературных материалов [1]. В этом отношении, использование концентрированной экологически чистой солнечной энергии, посредством установок на основе зеркально концентрирующих систем - гелиоустановок, приобретает важное значение. Исследования, проведенные в институте проблем материаловедения НАН Украины (Пасычный В.В., 2006г) показали перспективность переработки производственных отходов в потоке концентрированного солнечного излучения, позволяющие получить наноразмерные порошки материалов [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе изучены материалы, синтезированные из расплава на солнечной печи тепловой мощностью 1 МВт. Как известно, Большая Солнечная Печь (БСП) в городе Паркенте (Узбекистан) является уникальным инструментом для проведения полномасштабных исследований в области высокотемпературного синтеза материалов, проведения высокотемпературных исследований и испытаний различных материалов и узлов техники. БСП представляет собой сложный оптико-механический комплекс с автоматическими системами управления, состоящий из гелиостатного поля (62 гелиостата) и параболического концентратора, формирующих в фокальной

зоне концентратора стационарный поток энергии высокой плотности (вплоть до 600 Вт/см^2). Площадь отражающей поверхности гелиостатного поля – 3020 м^2 , концентратора - 1840 м^2 . Высота концентратора 54 м, ширина 47 м. Температура в фокусе лучей концентратора превышает $3000 \text{ }^\circ\text{C}$. Имеется возможность проведения охлаждения расплава с различной скоростью [3].

При нагреве, в потоке концентрированного светового излучения формируются особые технологические условия синтеза, которые могут быть использованы для получения материалов с заданными свойствами. Спектр концентрированного светового излучения при использовании зеркальных концентраторов охватывает диапазон от ближнего ИК ($\lambda = 2\text{--}3 \text{ мкм}$, энергия кванта до $0,4\text{--}0,6 \text{ эВ}$) до ближнего УФ ($\lambda = 0,3\text{--}0,4 \text{ мкм}$, энергия кванта до $3\text{--}4 \text{ эВ}$). Следовательно, если ширина запрещенной зоны оксидного материала свыше 4 эВ , вся солнечная энергия проникает в объем материала и поглощение энергии происходит за счет дефектов с уровнями внутри запрещенной зоны. При уменьшении ширины запрещенной зоны материала, всё большая часть энергии Солнца поглощается в тонком приповерхностном слое материала, а при металлической проводимости, солнечная энергия поглощается только в тонком поверхностном слое, порождая гигантские градиенты температуры в материале. Отражение света на границе воздух - оксид также имеет место. После плавления с формированием четкой границы жидкой фазы, отражение может играть заметную роль при синтезе материалов. Присутствие жидкой фазы способствует переносу вещества между зернами, полному протеканию реакции.

При солнечной плавке, нагрев материала происходит до тех пор, пока поток теплового излучения нагретого материала не сравняется с падающим потоком концентрированного солнечного излучения.

Излучательная способность нагретых тел, также как и интегральная степень черноты материала при высоких температурах является важным фактором при планировании экспериментов с солнечной плавкой. По определению, интегральная степень черноты $\varepsilon = \sigma/\sigma_0$, где σ – коэффициент лучеиспускания, $\text{Вт/м}^2\text{К}^4$.

Значения величин σ и ε зависят от температуры, строения тела, состояния, структуры и цвета поверхности и могут быть определены экспериментально. Для оксидов магния и кремния существуют области увеличения степени черноты. Примеси существенно изменяют степень черноты и границы и направления фазовых переходов в материалах. В идеально кристаллических материалах плотность состояний электронов зависит от энергии, и существуют возможные и запрещенные энергетические зоны. В металлах, электроны заполняют одну часть энергетических зон. Электроны заселяют верхнюю часть и могут участвовать в проводимости, находясь только в зоне проводимости. Уровень Ферми, при этом, располагается в середине, между зонами. Все они формируют электронные состояния и дают свой вклад в распределение плотности состояний по энергии. Хорошо известно, что растворимость мелких и глубоких примесей, как правило, ограничена (до 10^{20} и до 10^{16} см^{-3} , соответственно). Такие дефекты формируют локальные энергетические уровни в запрещенной зоне и способствуют качественному изменению зонной структуры материалов при температурах, близких к температуре плавления. На границах зон при температурах 300 К и 2300 К , плотности состояний различаются в 30 раз (таблица).

Плотность состояний вблизи краев зон диэлектрика

T, K	200	300	773	1073	1173	1273	1573	1673	1773	1873	2273	2573
$E, \text{Вт/см}^2$	0,01	0,05	2,0	7,6	11	15	34,7	44,4	56,0	69,78	150	250
$N \cdot 10^{-20}, \text{см}^{-3}$	0,13	0,24	1,0	1,7	1,9	2,2	3,0	3,28	3,58	3,89	5,2	7,2

Максимальная концентрация мелких примесей составляет порядка 10^{20} см^{-3} , а глубоких примесей – 10^{16} см^{-3} , и, поэтому для кристаллического материала имеется особенное распределение плотности состояний в запрещенной зоне. Процесс плавления материала под действием концентрированного светового излучения, в отличие от электрического нагрева, обусловлен поглощением света видимого спектра на дефектах структуры, в основном в области межзеренного пространства, инфракрасного в объеме и ультрафиолетового на приповерхностном слое.

Отмеченный нами, в процессе экспериментов, различный характер процесса плавления исходного сырья различной дисперсности в электрической и солнечной печи, показывает, что поглощение света видимого спектра на дефектах структуры, происходит в основном на приповерхностном слое и в области межзеренного пространства. В отличие от инфракрасного нагрева, при синтезе, на солнечной печи наблюдается послойное плавление, обусловленное нагревом, вследствие поглощения света на дефектах с уровнями внутрзапрещенной зоны на границах зерен в слое, толщиной λ . Материалы с мелкими зернами, прогреваются быстрее и плавятся при низкой плотности потока. По ходу облучения потоком концентрированного солнечного излучения, вследствие нагрева происходят твердофазные реакции.

При достижении температуры $T_{\text{пл}}$ синтезированный материал плавится. Процесс плавления можно описать следующим уравнением энергетического баланса:

$$Q = A + K, \text{ где } A = Q_{\text{изл.}} + Q_{\text{плав}} = \varepsilon \sigma T^4 + \lambda T, K = Q_{\text{конвек.}}$$

Энергия концентрированного солнечного излучения тратится на поглощение (A), ведущее к нагреву, тепловому излучению, плавлению и коективные потери.

Проанализированы особенности технологии твердофазного спекания керамики и расплавные технологии спекания ситалловых материалов на основе стекол, полученных при воздействии концентрированного светового излучения. Анализ показывает, что неизбежной стадией твердофазного синтеза при температурах T_s меньше, чем температура плавления ($T_{\text{пл}}$), т.е. (0,5–0,7) $T_{\text{пл}}$, служит диффузия атомов одного из компонентов (или атомов обоих компонентов) через слой твердых продуктов реакции. Коэффициенты диффузии в твердых телах обычно невелики (10^{-6} – $10^{-12} \text{ см}^2/\text{сек}$), и диффузия ограничивает скорость твердофазной реакции, продукт реакции, как правило, содержит примесь непрореагировавших компонентов, т.е. не является однородным. В расплавах скорость диффузии намного выше, жидкость может интенсивно перемешиваться принудительно, или за счет конвекции, в результате чего скорость протекания реакции еще более возрастает. Химическое равновесие, при этом, устанавливается за время от нескольких секунд до нескольких минут. Кроме того, жидкие продукты реакции можно затем подвергнуть кристаллизации и тем повысить их химическую чистоту и структурное совершенство.

Единой модели строения расплавов еще не сформулировано. Как полагают, доля кластеров существенна и в состояниях перегрева расплавов. Таким образом, можно предположить, что кластерная структура может быть передана материалу, получае-

тому кристаллизацией. Такой материал обладает повышенными свойствами по сравнению с материалом, полученным в условиях твердофазного спекания. Взаимодействие концен-трированного светового излучения с материалами основано на поглощениях энергии излучения на дефектах структуры на границах зерен. Количество границ зависит от дисперсности материала. Чем мельче зерно, тем больше количество границ между ними.

Так, материал с мелкими зернами будет интенсивнее поглощать энергию светового излучения и нагреваться. Малый размер зерен обуславливает большую развитость и протяженность межзеренных границ [4–6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеописанные особенности солнечных технологий обуславливают экономический эффект от применения плавного на Большой Солнечной Печи материала в производстве ситалловых изделий. Расчеты показывают, что удельный расход электроэнергии традиционного стекловарения составляет порядка 1,6 кВт*час/кг. Для получения 100 кг стекла тратится 160 кВт *час электрической энергии. А удельный расход электроэнергии при работе солнечной печи составляет 12 кВт*час. За один солнечный день на можно плавить базальтовые отходы в количестве до 500 кг, при расходе электрической энергии 50 кВт*час. Разница в расходе электрической энергии традиционной и солнечной печей составляет в 15 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. R.Y.Akbarov, M.S.Paizullakhanov. Characteristic features of the energy modes of a large solar furnace with a capacity of 1000 kW// Applied Solar Energy 54 (2), 99-109.
2. Pasichny V.V. [et al.] // Study of the process of processing the pseudo-alloy W-Cu (5%) in a solar furnace. // Electrical contacts and electrodes. 2006. С. 272-277.
3. MS Paizullakhanov [et al.] // Synthesis features of barium titanate in the field of concentrated light energy //Applied Solar Energy 49 (4), 248-250.
4. IG Atabaev [et al.] // High-strength glass-ceramic materials synthesized in a large solar furnace// Applied Solar Energy 51 (3), 202-205.
5. TT Riskiev [et al.] // The effects of the solar radiant flux density on the properties of pyroceramic materials//Applied Solar Energy 50 (4), 260-264.
6. Nanostructure Materials for Solar Energy Conversion.// Edited by Tetsuo Soga. Amsterdam.: Elsevier B.V. 2006. -600p.

МОДИФИКАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕДИ ПРИ ЕЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

С. В. Васильев, А. Ю. Иванов, А. Л. Ситкевич

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, ул. Ожешко, 22,
230023 Гродно, Беларусь, e-mail: ion_ne@mail.ru*

Методом рентгеновской дифрактометрии обнаружено изменение кристаллической структуры меди в зоне воздействия на ее поверхность лазерного излучения с плотностью потока 10^4 – 10^5 Вт/см². Показано, что при действии лазерного излучения на поверхности металлических образцов их кристаллическая структура меняется в облученной зоне с кубической гранецентрированной на искаженную (имеющую