

05.3; 07; 12

© 1992

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕРАВНОВЕСНЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ
В ТУГОПЛАВКИХ ОКИСЛАХ

Т.П. С а л и х о в, В.В. К а н

Интерес к исследованию фазовых переходов очень велик. Несмотря на это, большинство экспериментальных исследований, посвященных данному вопросу, не могут ответить на вопрос относительно природы и механизмов фазовых превращений в конденсированном состоянии вещества. Это обусловлено тем, что измеряемые параметры вещества в окрестности фазовых переходов несут интегральную информацию о фазовых переходах и не позволяют выделить отдельные вклады, обусловленные механизмом превращений. С другой стороны, изучение равновесных фазовых переходов вряд ли приведет к пониманию природы превращений, поскольку все интересные переходные явления должны „разворачиваться“ во времени с достаточно высокой скоростью. Так, если резюмировать экспериментальные результаты по фазовым переходам первого рода, то можно сказать следующее: при фазовых переходах 1 рода выделяется или поглощается тепло, процесс носит изотермический характер, большинство физических характеристик вещества в точке перехода испытывают разрыв. Перечисленные результаты носят феноменологический характер и поэтому подтверждают сказанное выше.

В данной работе при исследовании спектральных коэффициентов отражения в окрестности неравновесных фазовых переходов оксида самария было обнаружено, что фазовые переходы 1 рода сопровождаются вспышкой „белого“ света. Суть экспериментального метода сводилась к следующему. Малое количество вещества (~3 г) расплавлялось в оптической печи. Затем, быстро, в течение 20 мс, поверхность образца накрывалась интегрирующей сферой, внутри которой размещались три лампы-вспышки. Срабатывала система синхронизации: отключалась оптическая печь, запускались регистрирующая система и лампы-вспышки в интересующие исследователя моменты времени. Лампы-вспышки, расположенные внутри интегрирующей сферы с хорошо отражающим покрытием, создавали диффузное освещение образца через нижнее отверстие в сфере. Отраженная от поверхности образца часть зондирующего излучения на фоне собственного излучения образца регистрировалась с помощью яркостного десятиволнового пирометра, действующего в интервале длин волн 0.4–1.1 мкм. Типичные кривые изменения яркостных температур в процессе охлаждения образца с „обстрелянными“

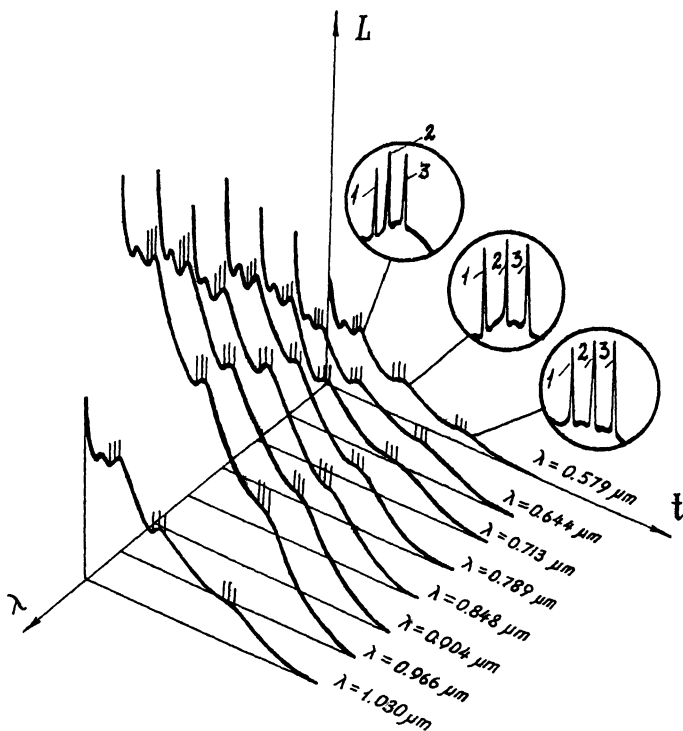


Рис. 1. Кривые изменения яркостных температур в процессе охлаждения оксида самария с „обстрелянными“ светом ламп-вспышек фазовыми переходами. L - сигналы, пропорциональные яркости объекта, в относительных единицах; λ - длина волны ($\mu\text{км}$); t - время с момента выключения оптической печи (мс); 1, 2, 3 - номера последовательно включаемых ламп-вспышек.

Светом ламп-вспышек фазовыми переходами оксида самария представлены на рис. 1. Диффузная полихроматическая подсветка образца в процессе его охлаждения позволила определить спектральные коэффициенты отражения в окрестности высоко-температурных фазовых переходов оксида самария. Такая дополнительная „оптическая“ информация дала возможность разделить „термооптическую“ информацию, получаемую с помощью яркостного пирометра, на термическую и оптическую части. Это очень важный момент, так как на кривой яркостной температуры фазовый переход выражен как пик яркости либо термического, либо оптического происхождения. Поэтому без дополнительной информации по спектральным оптическим свойствам трудно расшифровать данные пики яркости.

Для того, чтобы провести подобную процедуру разделения „оптотермической“ информации на термическую и оптическую части необходимо воспользоваться известной формулой расчета истинной температуры [1]:

$$T^{-1} - T_r^{-1} = C_2^{-1} \cdot \lambda \cdot \ln \varepsilon_\lambda(\theta, \psi, T), \quad (1)$$

где $\varepsilon_\lambda(\theta, \psi, T)$ – спектральная направленная степень черноты; λ – длина волны; T_r , T – соответственно яркостная и истинная температуры; C_2 – константа, равная $1.4388 \cdot 10^{-2}$ М·К.

Направленная степень черноты определяется при условии непрозрачности диагностируемой поверхности:

$$\varepsilon_\lambda(\theta, \psi, T) = 1 - \rho_\lambda(2\pi, \theta, \psi, T), \quad (2)$$

где $\rho_\lambda(2\pi, \theta, \psi, T)$ – полусферически-направленный коэффициент отражения, который в случае диффузного освещения поверхности равен направленно-полусферическому коэффициенту отражения, согласно свойству взаимности [2].

Результаты расчета истинных температур фазовых переходов оксида самария представлены на рис. 2. Там же представлены экспериментальные данные по спектральным коэффициентам отражения в окрестности высокотемпературных фазовых переходов оксида самария. Здесь А, В, Н, Х – соответственно гексагональная, ромбоэдрическая, гексагональная и объемноцентрированная кубическая кристаллические модификации.

Полученный результат просто удивителен. На рассчитанной кривой истинной температуры для охлаждающегося образца четко проявляются плоские изотермические участки, характерные для фазовых переходов 1 рода. Для сравнения на этом же графике представлена временная зависимость яркостной температуры на длине волны 0.644 мкм с пиками яркости вблизи фазовых переходов.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что вспышка яркости собственного излучения образца в момент фазовых переходов имеет чисто оптическую, а не термическую природу. Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать также следующие выводы:

1. Высокотемпературный фазовый переход 1 рода состоит из двух стадий: на первой стадии происходит выброс световой и тепловой энергий, на второй выделяется только тепло (в „равновесных“ экспериментах проявляется только вторая стадия).

2. Длительность световой стадии фазового перехода несколько миллисекунд порядка времени жизни возбужденных атомов.

3. Резкий выброс световой энергии при высокотемпературном фазовом переходе, по-видимому, является результатом кооперативных процессов в конденсированном состоянии вещества и очень напоминает импульсную генерацию в лазерах.

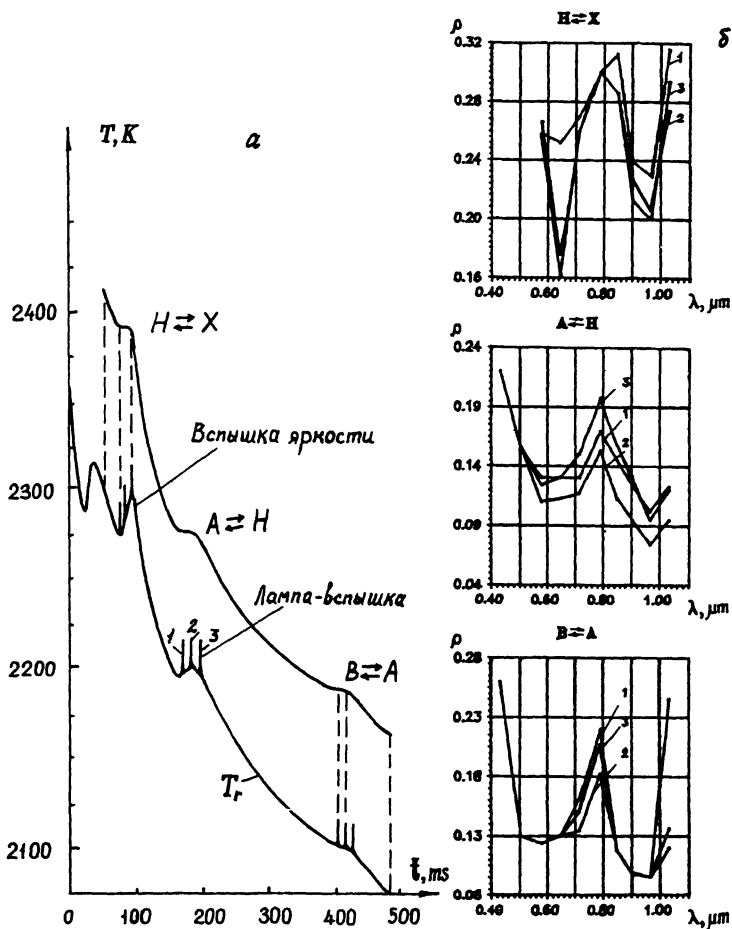


Рис. 2. Термограммы охлаждения образца для истинной и яркостной ($\lambda = 0.644$ мкм) температур (а): Спектральные коэффициенты отражения в окрестности высокотемпературных фазовых переходов оксида самария, λ , мкм: 1, 2, 3 – последовательность включения ламп-вспышек (б).

4. Яркостная вспышка, сопровождающая высокотемпературные фазовые переходы 1 рода в оксиде самария, наблюдалась на всех длинах волн в исследованном спектральном интервале.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С н о п к о В.Н. Спектральные методы оптической пирометрии нагретой поверхности. Минск: Наука и техника, 1988. 152 с.
- [2] З и г е л ь Р., Х а у э л л Дж. Теплообмен излучением. М.: Мир, 1975. 840 с. (Siegel R., Howell J.R. Thermal Radiation. Heat Transfer. N. Y.: McGraw-Hill, 1972).

Физико-технический
институт АН республики
Узбекистан,
Ташкент

Поступило в Редакцию
20 октября 1992 г.