

05.3; 12

© 1990

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ
КОМПОЗИЦИОННО УПОРЯДОЧИВАЮЩИХСЯ
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

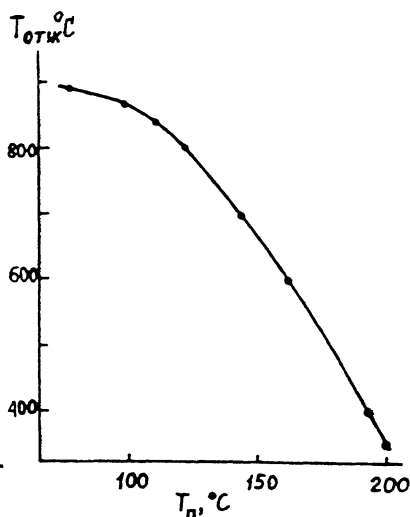
А.А. Б о к о в, И.П. Р а е в с к и й

При измерении температуры объектов, доступ к которым затруднен, например движущихся деталей машин и механизмов, распространение получили бесконтактные методы, сущность которых состоит в том, что датчик помещают в место, подлежащее контролю, после окончания эксперимента его извлекают и по изменению свойств чувствительного элемента судят о величине температуры объекта в процессе эксперимента [1]. Для измерения температуры используют изменение при отжиге твердости некоторых аустенитных стадий, цвета специально приготовленных термокрасок, параметра кристаллической решетки облученных нейтронами в ядерном реакторе кристаллов. Наиболее существенные недостатки известных датчиков такого типа связаны с тем, что они позволяют измерять только максимальную в процессе эксперимента температуру, рассчитаны на однократное использование, точность измерения с их помощью сравнительно невелика.

При высоких (более 500 °С) температурах наибольшую точность обеспечивает способ, в котором используется облученный нейтронами алмаз или карбид кремния. Среднеквадратичная погрешность измерения температуры этим способом в стационарном режиме составляет 6 К, в переменном (т.е. когда температура в точке измерения претерпевает значительные колебания, и датчик выдерживается при измеряемой температуре не все время измерения) – 12 К [1]. Процессы изготовления датчиков из облученных кристаллов и расшифровки результатов довольно сложны – для расшифровки во многих случаях приходится пересылать датчики в специализированные организации.

В настоящей работе предлагается принципиально новый бесконтактный способ, позволяющий повысить точность и существенно упростить процесс измерения температуры объектов, труднодоступных во время работы. В качестве рабочего вещества датчика при этом используются оксиды со структурой типа перовскита $Pb_2B'B''O_6$, где B' и B'' ионы разной валентности. В ряде таких оксидов, наряду с сегнето- (или антисегнето-) электрическим фазовым переходом, при гораздо более высоких температурах T_z (1000–1500 °С) существует фазовый переход, для которого параметром порядка служит степень упорядочения S в размещении ионов B' и B'' по одинаковым кристаллографическим положениям (композици-

Зависимость температуры анти- сегнетоэлектрического фазового перехода от температуры отжига для кристалла Pb_2InNbO_6 .



онного упорядочения) [2]. Поскольку переход порядок-беспорядок при T_f является переходом II рода (или близким ко второму роду), равновесное значение S плавно увеличивается при понижении температуры (когда $T < T_f$). Однако, в связи с тем, что изменение S происходит путем диффузии, скорость которой уменьшается с уменьшением температуры, процесс установления равновесного значения S

при изотермическом отжиге может занимать многие часы, а достигнутое состояние может быть заморожено путем достаточно быстрого охлаждения. Измерив величину S , можно в принципе определить температуру отжига $T_{отж}$. Однако структурные исследования, необходимые для этого, весьма сложны и не обеспечивают приемлемой точности. Для определения $T_{отж}$ гораздо удобнее использовать связь температуры сегнето- (антисегнето-) электрического перехода T_{II} с величиной S , благодаря которой T_{II} однозначно зависит от $T_{отж}$ (в определенном интервале). Температура T_{II} может быть легко найдена одним из известных методов [3], например, по положению максимума на температурной зависимости диэлектрической проницаемости. Зависимость определенной таким образом T_{II} от $T_{отж}$ для кристалла Pb_2InNbO_6 приведена на рисунке, который может быть использован как градуировочный график для определения $T_{отж}$ предлагаемым способом.

Для характеристики температурной чувствительности датчиков удобно использовать параметр $\alpha = \frac{dT_{II}}{dT_{отж}}$. В таблице приведены полученные нами средние значения α и диапазон температур, в котором они определялись для ряда оксидов со структурой перовскита.

Диапазон рабочих температур ограничивается сверху - фазовым переходом порядок-беспорядок (в окрестности этого перехода $T_{II} \sim S^2$ [4] и поэтому, хотя S сильно зависит от $T_{отж}$, зависимость T_{II} от $T_{отж}$ слабая), снизу - ростом времени упорядочения.

Проблемы, возникающие на пути применения предлагаемого способа, связаны, прежде всего, с тем, что свойства рабочего тела зависят не только от S , но и от других факторов, действие которых проявляется в результате высокотемпературного отжига - концентрации дефектов структуры, примеси пироклорной фазы. Ис-

Соединение	Диапазон измеряемых температур, °C	α	$\Delta k, \text{Å}$
Pb_2ScNbO_6	950–1210	0.13	0.09
Pb_2ScTaO_6	1000–1450	0.08	0.09
Pb_2InNbO_6	350–800	0.17	0.15
	800–900	0.5	
Pb_2YbNbO_6	900–1000	0.9	0.22
Pb_2YbTaO_6	1100–1260	0.9	0.22

пользуя кристаллы Pb_2InNbO_6 , нам удалось получить датчики, позволяющие определять температуру со среднеквадратичной погрешностью, не превышающей 5 К, причем как в стационарном, так и в переменном режимах (в последнем случае необходимо только, чтобы температура принимала стационарное значение в заключительной части эксперимента). При этом стоимость одного измерения многократно ниже, чем в случае датчиков с облученными кристаллами [1], благодаря, во-первых, простоте процедуры приготовления датчика из кристалла и анализа результатов, во-вторых, возможности использовать каждый датчик многократно. Наличие однозначной, не зависящей от термической предыстории, связи между $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{отж}}$, определяет и другие важные преимущества предлагаемого способа – возможность определять не только максимальную в процессе эксперимента температуру, но и температуру, которая устанавливается в термометрируемом объекте после прохождения максимума, отсутствие требования точно знать время измерения, форму графика изменения температуры объекта во времени, предшествующем установлению ее измеряемого значения.

Важной характеристикой рассматриваемых датчиков является скорость изменения S , которая определяет время измерения. Оно уменьшается при увеличении $T_{\text{отж}}$ и для исследованных нами кристаллов Pb_2InNbO_6 составляет от 5 до 10 мин при $T_{\text{отж}} = 900^\circ\text{C}$ и 100 часов и более при $T_{\text{отж}} = 350^\circ\text{C}$. При столь больших скоростях в верхней части температурного диапазона измерений могут возникнуть трудности, связанные с тем, что после отжига в термометрируемом объекте датчик должен быть охлажден очень быстро, таким образом, чтобы S не успела измениться за время охлаждения. Таким образом, возникает задача уменьшения скорости упорядочения при измерении наиболее высоких температур. В нижней части температурного диапазона измерений, наоборот, целесообразно увеличить скорость упорядочения, чтобы датчики можно было использовать при малых временах эксперимента. Факторы, на нее влияющие, практически не исследованы, известно, однако, что она связана с концентрацией ионных вакансий [1], зависит от способа получения

кристаллов, их размеров (чем больше кристалл, тем меньше скорость), может сильно различаться в различных соединениях (кристаллы Pb_2ScNbO_6 при 900 °С упорядочиваются десятки часов) и состояниях (в кристаллах она, как правило, больше, чем в керамике).

Как видно из таблицы, величина α в различных соединениях тем больше, чем больше разность радиусов упорядочивающихся ионов $\Delta R = |R_{B'} - R_{B''}|$ (использовалась система радиусов Шеннона). Такая корреляция согласуется с теоретическими выводами [5]. Новые материалы для датчиков температуры следует, поэтому, искать среди соединений с большим ΔR .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Николаенко В.А., Карпухин В.И. Измерение температуры с помощью облученных материалов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 120 с.
- [2] Б о к о в А.А., Р а у е в с к у ю I.P. // Ferroelectrics. 1989. V. 90. P. 125-133.
- [3] Б а р ф у т Дж., Т е й л о р Дж. Полярные диэлектрики и их применение. М.: Мир, 1981. 526 с.
- [4] Б о к о в А.А., Р а е в с к и й И.П., С м о т р а к о в В.Г. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 7. С. 2025-2027.
- [5] Б о к о в А.А., Х а с а б о в А.Г., Р а е в с к и й И.П. // Изв. АН СССР. Сер. физическая. 1990. Т. 54. № 4. С. 732-736.

Научно-исследовательский
институт физики,
Ростовский государственный
университет

Поступило в Редакцию
12 июня 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17

12 сентября 1990 г.

05.2; 08

© 1990

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ И УПРУГИХ ВОЛН
В ФЕРРИТОВЫХ ПЛЕНКАХ

А.С. Б у г а е в, В.Б. Г о р с к и й,
А.В. П о м я л о в

В дисперсионные уравнения магнитоупругих волн [1] в ферритовых пленках входит параметр магнитоупругого взаимодействия η ,