АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXIII 1977 Вып. 5

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.2

ПЬЕЗОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СУЛЬФОИОДИДА СУРЬМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Л. М. Беляев, А. А. Греков, П. Л. Закс, В. А. Ляховицкая, Б. А. Поповкин, Н. П. Проценко, В. Д. Спицына, Л. Н. Сыркин, Л. И. Татаренко, Н. И. Феоктистова

Чрезвычайно высокое значение объемного пьезомодуля сегнетоэлектрических кристаллов SbSI, на порядок большее, чем у других пьезоэлектриков, дало основание предположить, что из SbSI можно изготовить пьезоэлементы и электроакустические преобразователи-приемники, реагирующие непосредственно на всестороннее давление, т. е не требующие механической трансформации [1].

Однако низкая температура Кюри SbSI и изоструктурных ему кристаллов халькогеногалогенидов сурьмы (ХГС) исключает или существенно ограничивает возможность непосредственного использования SbSI в электроакустике.

Попытка устранить этот недостаток путем легирования кристаллов SbSI сульфидом сурьмы (Sb_2S_3) оказалась недостаточно эффективной из-за ухудшения параметров материала [2, 3].

Таким образом, основной задачей поиска новых пьезоматериалов типа ХГС является подбор легирующих добавок и соответствующих технологических приемов, обеспечивающих существенный рост температуры Кюри при сохранении высоких параметров, характерных для SbSI.

Нами были изучены физико-химические и кристаллохимические особенности образования кристаллов типа халькогеногалогенидов сурьмы (ХГС), а также влияние различных добавок (в широком интервале изменения концентрации) на температуру Кюри, диэлектрические и электромеханические свойства кристаллов SbSI.

Поликристаллические текстуры образовывались при нормальном затвердевании расплава, содержащего избыточное количество добавки. Использовался метод Стокбаргера – Бриджмена, позволяющий осуществлять направленную кристаллизацию вещества в стеклянной, запаянной, вакуумированной ампуле.

В результате этих исследований были созданы (в лабораторных условиях) новые поликристаллические материалы на основе SbSI, имеющие хорошие пьезоэлектрические свойства при более высокой, чем у всех ранее известных модификаций SbSI, температуре Кюри.

Параметры лучшего из них, условно обозначенного как состав № 2, приведены в таблице при двух температурах: 5 и 30° С. Там же даны для сравнения параметры SbSI, материала на основе SbSI с добавкой Sb_2S_3, а также наиболее эффективного пьезокерамического материала, предназначенного для электроакустических приемников – PZT-5H [4].

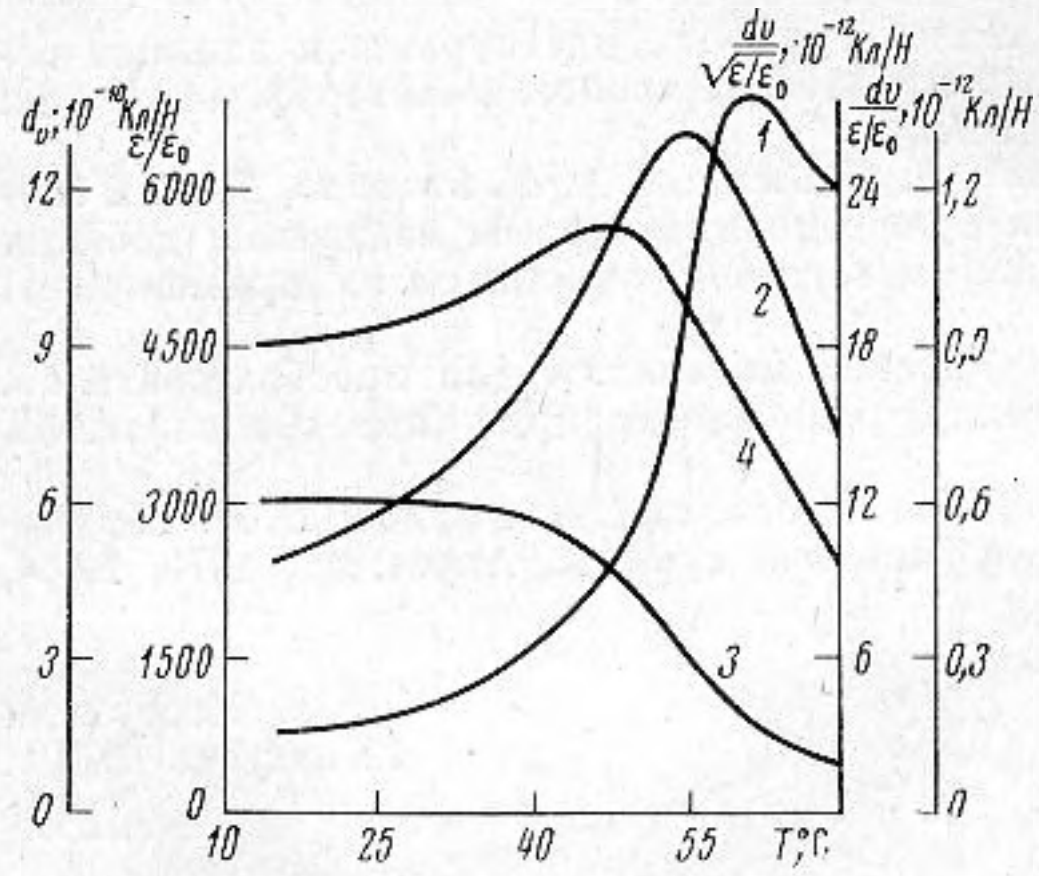
В таблице приняты следующие обозначения: $\varepsilon/\varepsilon_0$ – относительная диэлектрическая проницаемость, k_{33} — «продольный» коэффициент электромеханической связи, d_v — объемный пьезомодуль, ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума. Параметры $\frac{d_v}{\varepsilon/\varepsilon_0}$ и $\frac{d_v}{\sqrt{\varepsilon/\varepsilon_0}}$ характеризуют эффективность пьезоматериала при его использовании в электроакустических приемниках при различных условиях согласования приемника со входом усилителя.

Из таблицы видно, что k_{33} у состава № 2 несколько меньше, чем у SbSI (при 5° С) и у PZT-5H. В то же время все параметры, характеризующие пьезоэффект при объемной деформации, на порядок и более превышают соответствующие значения для PZT-5H.

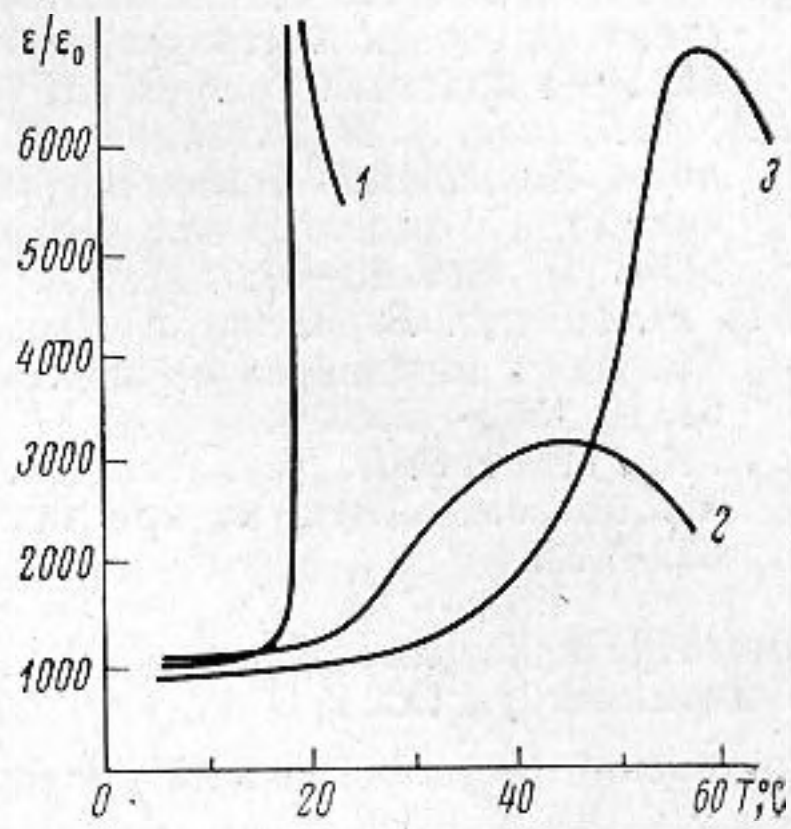
На фиг. 1 представлены температурные зависимости параметров состава № 2 (при росте температуры T), а на фиг. 2 дано сравнение температурных зависимостей $\varepsilon/\varepsilon_0$ для различных материалов типа ХГС.

Сравнение материалов типа ХГС показывает, что по температурному диапазону состав № 2 обладает существенными преимуществами, а по эффективности при 5° С он значительно лучше, чем (SbSI—Sb_2S_3) и лишь немногим уступает чистому SbSI.

С увеличением температуры до 40–45° величина $\frac{d_v}{\varepsilon/\varepsilon_0}$ у состава № 2 почти не изменяется; $\frac{d_v}{\sqrt{\varepsilon/\varepsilon_0}}$ возрастает на 10–15%. С дальнейшим ростом T наблюдается спад обоих параметров, однако эти изменения полностью обратимы в интервале температур по крайней мере от −30 до +70° С. Электромеханические параметры состава № 2 стабильны при действии всестороннего давления вплоть до $P=600-700\cdot10^5$ *Па*, а при увеличении давления до $1000\cdot10^5$ *Па* (1000 *атм*) все изменения обратимы. В то же время для других материалов типа ХГС наблюдались значительные необратимые изменения k_{33} и d_v после повышения давления или температуры.



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Температурные зависимости параметров ХГС (состав № 2): *1* – $\varepsilon/\varepsilon_0$; *2* – d_v; *3* – $d_v/(\varepsilon/\varepsilon_0)$; *4* – $d_v/\sqrt{\varepsilon/\varepsilon_0}$

Фиг. 2. Сравнение температурных зависимостей различных материалов типа ХГС: *1* – SbSI; *2* – SbSI+12% Sb_2S_3; *3* – состав № 2

Таким образом, поликристаллический материал на основе SbSI можно использовать для преобразователей-приемников, работающих в широком интервале температур и давлений. Они могут работать в режиме излучения, однако из-за высоких диэлектрических потерь и низкого коэрцитивного поля кристаллов халькогеногалогенидов сурьмы использование их в этом режиме возможно лишь при очень малых амплитудах (например, для измерительных целей).

Отсутствие необходимости введения механической трансформации звукового давления в одноосное механическое напряжение обеспечивает широкие возможности для создания из материалов типа ХГС преобразователей новых типов, в которых чувствительные элементы весьма малых размеров располагаются вдоль линейной

Параметры пьезоэлектрических материалов

Материал	$\varepsilon/\varepsilon_0$		k_{33}		$d_v\cdot10^{10}$, Кл/Н		$\frac{d_v}{\varepsilon/\varepsilon_0}\cdot10^{14}$, Кл/Н		$\frac{d_v}{\sqrt{\varepsilon/\varepsilon_0}}\cdot10^{12}$, Кл/Н		T_c, °C
	5°	30°	5°	30°	5°	30°	5°	30°	5°	30°	
ХГС (состав № 2)	800	1150	0,65	0,7	4,7	6,2	58	54	16	18	58
SbSI	2200	10^4	0,87	0	10	0	46	0	21	0	19
SbSI+ +12% Sb_2S_3	1000	2000	0,36	0,13	3,1	1,5	31	7	10	3,3	43
PZT-5H	3400	3450	0,75	0,75	0,5	0,5	1,5	1,5	0,8	0,8	193

базы или образуют звукопрозрачные решетки, совмещаемые с поверхностями произвольной формы.

Интересной особенностью таких пьезоматериалов является крайне низкая скорость звука (c=1600–2000 *м/сек*), что в некоторых случаях является важным преимуществом. Наконец, конструкция пьезоэлементов и преобразователей из этих материалов отличается простотой [5], а технология – воспроизводимостью, что, несомненно, облегчит процесс их внедрения в серийное производство. Следует также отметить, что возможности усовершенствования пьезоматериалов типа ХГС в настоящее время далеко еще не исчерпаны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США. 1.070.550. Piezoelectric elements, Clewite Corporation, Nov. 24, 1964 (Dec. II, 1963), № 47819/64, Heading H1E.
2. *В. А. Ляховицкая.* Выращивание кристаллов сульфоиодида сурьмы и влияние состава на его диэлектрические и фотоэлектрические свойства. Автореф. канд. дис. М., Ин-т кристаллографии АН СССР, 1967.
3. *А. А. Греков, А. М. Завьялова, П. Л. Закс, Л. Н. Сыркин, А. М. Эльгард, Н. П. Чехунова.* Повышение температуры Кюри сульфоиодида сурьмы введением добавки сульфида сурьмы. В сб.: «Новые пьезо- и сегнетоматериалы и их применение», МДНТП, 1969, 53–57.
4. *Г. Жаффе, Д. Берлинкурт.* Пьезоэлектрические материалы для преобразователей. Тр. Ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (пер. с англ.), 1965, *53*, 10, 1552–1553.
5. *А. А. Греков, С. П. Данилова, П. Л. Закс, Л. А. Рубанов, Л. Н. Сыркин, Н. П. Чехунова.* Пьезоэлементы из кристаллов сульфоиодида сурьмы. Акуст. ж., 1973, *19*, 4, 622–623.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР,

Ростовский государственный университет,

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова,
химический факультет

Поступила
12 августа 1976 г.

УДК 551.482.215.71

АКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА ПРИ ВСКРЫТИИ РЕК

В. В. Богородский, В. П. Гаврило, К. К. Сухоруков

Естественное разрушение льда на реках в период вскрытия является сложным динамическим процессом, сопровождающимся излучением звука. В последнее время проведен ряд лабораторных и натурных исследований, позволяющих судить об основных механизмах звукообразования при разрушении льда [1–4]. Однако для выявления связи процесса разрушения льда с возникающими при этом звуковыми явлениями в специфических речных условиях необходимо было провести специальные опыты, поскольку на характеристики шумового поля в этом случае оказывает влияние ограниченность размеров русел реки, относительно большие скорости потока и др.

С этой целью нами были проведены натурные исследования спектрально-энергетических характеристик естественного шума в период весеннего вскрытия в придельтовом участке р. Енисей в районе г. Игарка с 20 мая по 6 июня 1976 г., на Ангаре, на 20-*км* участке ниже Иркутской ГЭС – с 15 по 20 февраля 1976 г., а также на Даугаве в районе устья р. Айвиексте с 29 марта по 4 апреля 1976 г. Шумовые процессы в водной среде регистрировались в звуковом диапазоне частот с помощью калиброванного гидрофона и измерительного усилительного тракта с записью на магнитную ленту.

При проведении исследований на р. Енисей гидрофоны устанавливались на глубине 3 *м* от нижней поверхности льда на расстоянии 25 *м* от границы ледового покрова, отдаленной от берега на 50–70 *м*. Толщина льда в месте установки гидрофонов составляла 1,3–1,5 *м*.

На фиг. 1 приведены временные зависимости уровня воды в русле, температуры воздуха и скорости ветра в период проведения измерений. Нижний график показывает колебания уровня подледного шума в полосе частот 80–8000 *гц* в децибелах относительно нулевого уровня $2\cdot10^{-5}$ *Па* для различных состояний ледяного покрова. Из графика видно, что максимальные значения шума соответствуют периодам по-