

ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТЫ ИЗ КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФОИОДИДА СУРЬМЫ

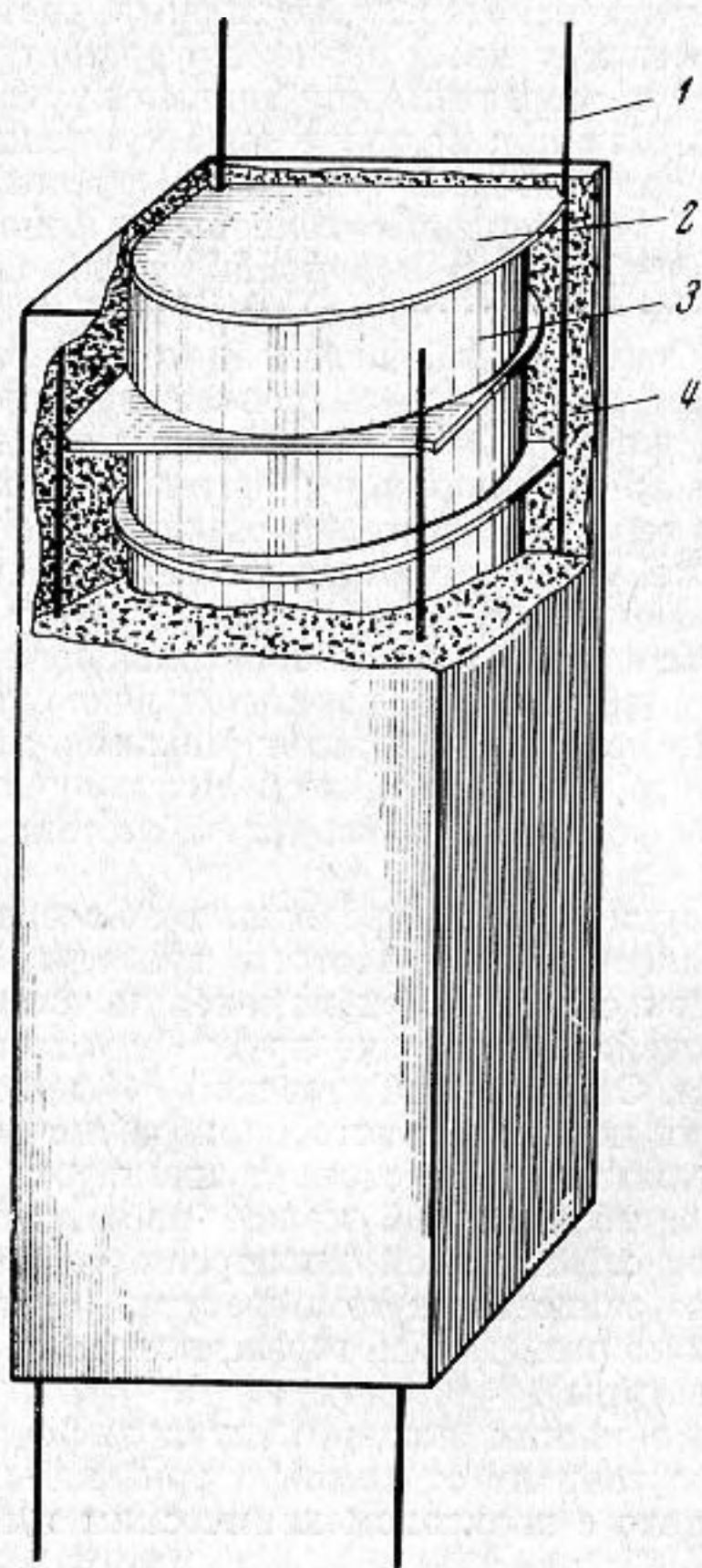
А. А. Греков, С. П. Данилова, П. Л. Закс, В. В. Булчева,
Л. А. Рубанов, Л. Н. Сыркин, Н. П. Чехунова, А. М. Эльгард

Кристаллы сульфоиодида сурьмы (SbSI) по своим пьезоэлектрическим свойствам значительно превосходят все известные в настоящее время активные материалы [1, 2]. Особенно важным преимуществом этих кристаллов является необычайно большой объемный пьезомодуль d_v . У чистых кристаллов SbSI с температурой Кюри 18—22° С при $T = 0^\circ \text{C}$ $d_{33} = 40 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС, $d_v = 30 \cdot 10^{-6}$ ед.

Верхняя граница рабочего интервала температур кристаллов SbSI с модифицирующими добавками достигает 35° С [3]. Таким образом, кристаллы сульфоиодида сурьмы представляются перспективными для создания высокоэффективных электромеханических преобразователей.

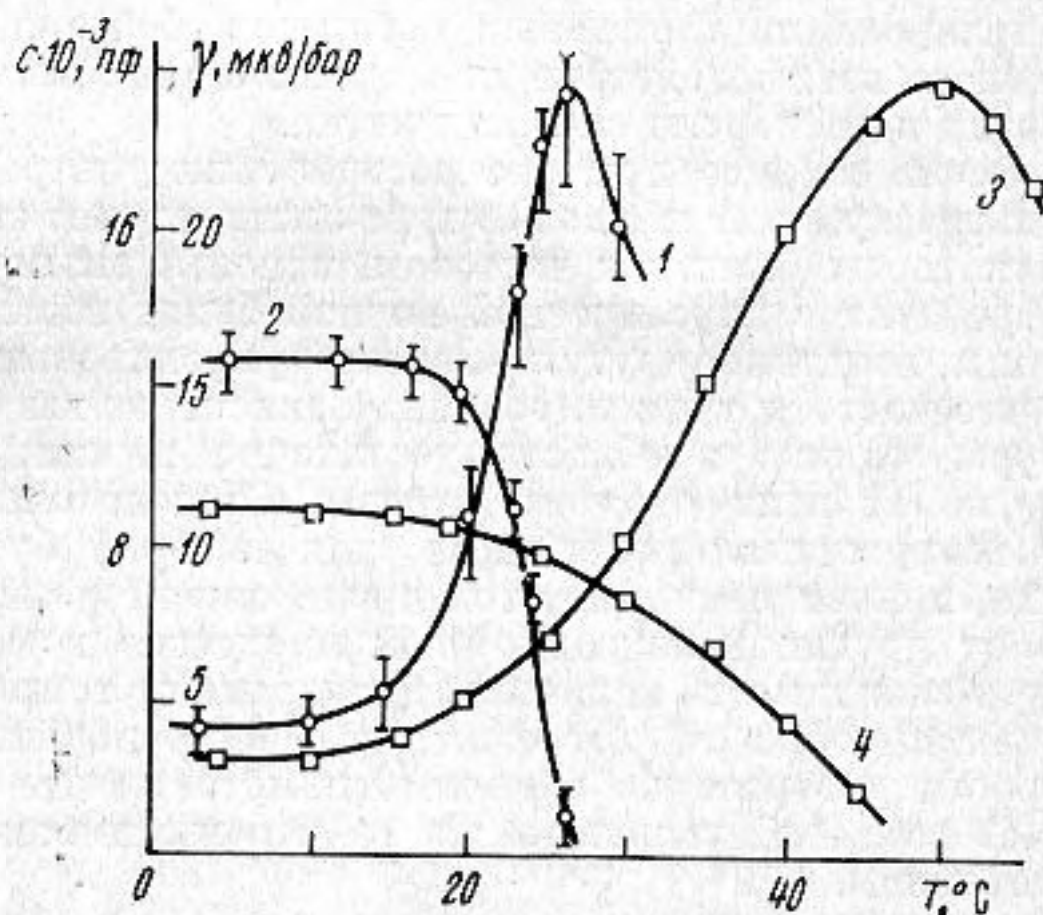
Для изготовления пьезоэлементов используются кристаллы SbSI, выращенные методом Бриджмена [4] в стеклянных ампулах в виде текстур длиной до 8—10 см, диаметром 7—9 мм. Текстуры представляют собой плотную связку из большого числа длинных игловидных кристаллов сечением ≤ 1 мм. Полярная ось c этих кристаллов ориентирована вдоль связки; оси a и b ориентированы хаотически.

Текстуры имеют достаточно высокую механическую прочность, и из них могут быть нарезаны пластины толщиной от 1 мм. Для



Фиг. 1

Фиг. 1. Составной пьезоэлемент: 1 — коммутационный проводник; 2 — коммутационная шина; 3 — диск из SbSI; 4 — заливочная масса



Фиг. 2

Фиг. 2. Зависимость емкости (1, 3) и чувствительности (2, 4) пьезоэлементов из чистого (1, 2) и модифицированного (3, 4) SbSI от температуры

разрезки текстур использовались абразивные диски типа ЛОАЗ КГБ-80-20, толщиной 0,2 мм. На пластины методом термовакуумного напыления наносились никелевые электроды и присоединялись коммутационные шинки (фиг. 1). Как показали измерения, никелевые электроды обеспечивают контакт и эквивалентны электродам из аквадага, но имеют более высокую механическую прочность. Напыление производилось в установке УВР-2.

Вакуум в камере достигал $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.; через вольфрамовый испаритель пропускался ток 60—70 а. Время испарения никеля составляло 100—120 сек. Присоединение коммутационных шинок производилось проводящим клеем — эпоксидной смолой с графитовым наполнителем. Удельное объемное сопротивление клея составляло 5 ом·см. На основе изготовленных таким образом пластин в форме дисков создава-

лись разнообразные чувствительные элементы электромеханических преобразователей.

В качестве примера на фиг. 1 показан составной пьезоэлемент из семи дисков в форме столбика. Диски электрически соединены между собой параллельно. Для обеспечения механической прочности и герметичности столбик заливают эпоксидным компаундом ЭК-16Б, который заполняет также зазоры между дисками. Диски имели диаметр 9 и толщину 3 мм; высота столбика равнялась 23 мм, сечение 10×10 мм². Поляризация пьезоэлементов производилась после их сборки напряжением 200 в при медленном охлаждении их от 40 до 0° С. Для проверки технологии была изготовлена партия таких пьезоэлементов в количестве 50 штук.

Средние параметры и среднеквадратичные отклонения параметров дисков до сборки столбиков имели следующие значения (при $T = 10^\circ \text{C}$): $\bar{d}_v = 28 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС, $\overline{\Delta d}_v = 5 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС, $\bar{\epsilon} = 2000$, $\overline{\Delta \epsilon} = 130$, $(\overline{\text{tg } \delta}) = 0,1$, $\overline{\Delta(\text{tg } \delta)} = 0,05$, $\bar{\rho} = 4,5 \cdot 10^8$ ом·см, $\overline{\Delta \rho} = 0,5 \cdot 10^8$ ом·см, $(s_{33}^E)^{-1} \approx 1,5 \cdot 10^{11}$ дин/см².

По этим данным можно рассчитать основные характеристики пьезоэлементов, а именно чувствительность γ , емкость C_n , сопротивление изоляции $R_{из}$ и резонансную частоту f_p

$$\gamma = \frac{4\pi d_v h}{\epsilon},$$

$$C_n = \frac{\epsilon D^2 n}{16h},$$

$$R_{из} \approx \frac{4\rho h}{\pi D^2 n} = \frac{R_0}{n}, \quad f_p \approx \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{(s_{33}^E)^{-1}}{\rho}}.$$

Здесь h — расстояние между электродами диска, D — диаметр диска, l — высота пьезоэлемента (столбика), n — число дисков в пьезоэлементе, ρ — удельное объемное сопротивление дисков SbSJ, $(s_{33}^E)^{-1}$ — модуль Юнга SbSJ.

Экспериментальное определение чувствительности пьезоэлементов производилось с помощью воздушного пистонфона на частоте 80 гц [5]. Для измерения емкости на частоте 1000 гц был использован мост МЛЕ-1, а для измерения сопротивления изоляции — электрометр ЭД 05М при рабочем напряжении 10 в.

Полученные экспериментальные и расчетные данные (при температуре $T = 10^\circ \text{C}$) приведены в таблице.

Параметры	$\bar{\gamma}$, мкв/бар	$\overline{\Delta \gamma}$, мкв/бар	\bar{C} , пф	$\overline{\Delta C}$, пф	\bar{f}_p , кгц	$\overline{\Delta f}_p$, кгц	$\bar{R}_{из}$, ом	$\overline{\Delta R}_{из}$, ом
Эксперимент	16,5	1,2	2240	90	30,5	4,2	$4,3 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^7$
Расчетн.	15,8		2360		38,5		$3 \cdot 10^7$	

Как видно из таблицы, экспериментальные данные достаточно близки к расчетным.

Опытная партия пьезоэлементов была изготовлена из немодифицированных кристаллов, поэтому рабочий интервал температур ограничен температурой $\sim 20^\circ \text{C}$. На фиг. 2 показаны зависимости чувствительности и емкости пьезоэлементов от температуры, а также температурные зависимости γ и C для одного пьезоэлемента из кристаллов, модифицированных добавкой Sb_2S_3 [3]. Для таких пьезоэлементов предельная рабочая температура повышается до 35°C .

Пьезоэлементы, изготовленные из модифицированного SbSJ, могут быть использованы в некоторых типах электромеханических преобразователей. Испытание экспериментальных макетов таких преобразователей дало положительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физическая акустика, ч. А, под ред. У. Мэзона. М., «Мир», 1966.
2. Материалы пьезокерамические, ГОСТ 1392768.
3. А. А. Греков, А. М. Завьялова, П. Л. Закс, Л. Н. Сыркин. Сб. Новые пьезо- и сегнетоматериалы и их применение, М., МДНТП, 53, 1969.
4. П. Л. Закс, Н. Н. Крайник, И. Е. Мыльникова, Р. Е. Пасынков, С. Н. Попов, Л. Н. Сыркин, А. М. Эльгард. Электронная техника, сер. 14, 1968, 4, 148.
5. А. М. Завьялова, П. Л. Закс, А. В. Мецнер, Л. Н. Сыркин, А. М. Эльгард. В сб.: Новые пьезоэлектрические и магнитоотриксционные материалы и их применение в технике. Л., ЛДНТП, 65, 1971.

Поступила
20 января 1972 г.