

ЧАСТОТНАЯ ДИСПЕРСИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛА TIS

С.Н. МУСТАФАЕВА, А.А. ИСМАИЛОВ

Институт Физики
Национальной Академии Наук Азербайджана,
AZ-1143, Баку, Г. Джавида, 33

В слоистых монокристаллах TIS моноклинной структуры исследована частотная дисперсия тангенса угла диэлектрических потерь ($tg\delta$), диэлектрической проницаемости (ϵ') и ас – проводимости (σ_{ac}) поперек слоев в области частот $f = 5 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^7$ Гц и $T = 300$ К. Установлено, что в изученных монокристаллах TIS при $f < 10^6$ Гц имеют место потери на электропроводность, сменяющиеся при $f > 10^6$ Гц релаксационными потерями. Обнаружено, что в частотном диапазоне $10^6 \div 3 \cdot 10^7$ Гц ас – проводимость монокристалла TIS подчинялась закономерности $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$, характерной для прыжкового механизма переноса заряда по локализованным вблизи уровня Ферми состояниям. Оценены плотность состояний, лежащих в окрестности уровня Ферми: $N_F = 2.65 \cdot 10^{20}$ эВ $^{-1}$ см $^{-3}$, а также среднее время (τ) и расстояние (R) прыжков: $\tau = 6.5 \cdot 10^{-8}$ с; $R = 78$ Å.

Frequency dependence of the dissipation factor ($\tan\delta$), the permittivity (ϵ'), and ac conductivity (σ_{ac}) across the layers in the frequency range $f = 5 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^7$ Hz was studied in layered TIS single crystals of monocline structure at $T = 300$ K. It was shown that at $f > 10^6$ Hz relaxation losses take place. In the alternate electric fields, the ac conductivity obeyed the $f^{0.8}$ – law at $f = 10^6 \div 3 \cdot 10^7$ Hz. It was established that the mechanism of the ac charge transport in TIS crystals is hopping over localized states near the Fermi level. Estimations yielded the following values of the parameters: the density of states at the Fermi level $N_F = 2.65 \cdot 10^{20}$ eV $^{-1}$ cm $^{-3}$; the average time of charge carrier hopping between localized states $\tau = 6.5 \cdot 10^{-8}$ s; average hopping distance $R = 78$ Å.

Моносulfид таллия TIS [1] кристаллизуется в различных структурах, в частности, в тетрагональную структуру типа TlSe и моноклинную структуру (структурный аналог TlGaSe $_2$). Выращенный в моноклинной структуре слоистый монокристалл TIS, согласно [2] имел следующие параметры элементарной решетки: $a = 10.90$, $b = 10.94$, $c = 15.18$ Å; $\beta = 100.2^\circ$. В полученном монокристалле TIS были измерены диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь на одной частоте $f = 9.8$ МГц.

Целью работы явилось изучение частотной зависимости диэлектрических коэффициентов монокристалла TIS с моноклинной структурой и выяснение механизма переноса заряда в переменных электрических полях.

Образец из монокристалла TIS был изготовлен в виде плоского конденсатора, плоскость которого была перпендикулярна С-оси монокристалла. В качестве контактного материала к образцу TIS был использован индий. Толщина образца из TIS составляла $9 \cdot 10^{-2}$ см, а площадь обкладок плоского конденсатора – 0.12 см 2 .

Диэлектрические коэффициенты монокристалла TIS были измерены резонансным методом с помощью куметра TESLA BM 560. Диапазон частот переменного электрического поля составлял $5 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^7$ Гц. Диэлектрические измерения проведены при 300 К.

На рис. 1 приведена частотная зависимость диэлектрической проницаемости образца TIS. Видно, что во всем изученном диапазоне частот в TIS имеет место значительная диэлектрическая дисперсия. С изменением частоты от $5 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^7$ Гц значение ϵ' уменьшалось в 7 раз. Наблюдаемое в экспериментах монотонное уменьшение диэлектрической проницаемости монокристалла TIS с ростом частоты свидетельствует о релаксационной дисперсии.

На рис. 2 представлена частотная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь ($tg\delta$) изученного монокристалла TIS. Видно, что в области частот $5 \cdot 10^4 - 10^6$ Гц $tg\delta$ гиперболически спадает с ростом частоты, что свидетельствует о потерях на электропроводность. На частотной зависимости $tg\delta$ изученного монокристалла TIS при $f > 10^6$ Гц наблюдались максимумы (рис.2), что характерно для релаксационных потерь.

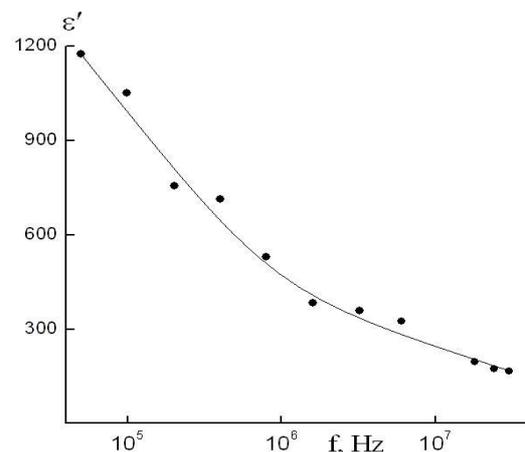


Рис.1. Дисперсионная зависимость диэлектрической проницаемости монокристалла TIS при 300 К.

На рис. 3 представлены экспериментальные результаты изучения частотной зависимости ас-проводимости монокристалла TIS при 300 К. В частотной области $5 \cdot 10^4 - 10^6$ Гц ас-проводимость монокристалла TIS изменялась по закону $\sigma_{ac} \sim f^{0.5}$, а при $f = 10^6 - 3 \cdot 10^7$ Гц – по закону: $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$. Это свидетельствует о том, что проводимость TIS в диапазоне частот $10^6 - 3 \cdot 10^7$ Гц обусловле-

ЧАСТОТНАЯ ДИСПЕРСИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛА TIS

на прыжками носителей заряда между локализованными в запрещенной зоне состояниями [3]. Указанному механизму переноса заряда соответствует выражение [4]

$$\sigma_{ac}(f) = (\pi^3 / 96) e^2 k T N_F^2 a^5 f [\ln(v_{ph} / f)]^4, \quad (1)$$

где e – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; N_F – плотность локализованных состояний вблизи уровня Ферми; $a = 1/\alpha$ – радиус локализации; α – постоянная спада волновой функции локализованного носителя заряда $\psi \sim e^{-\alpha r}$; v_{ph} – фононная частота.

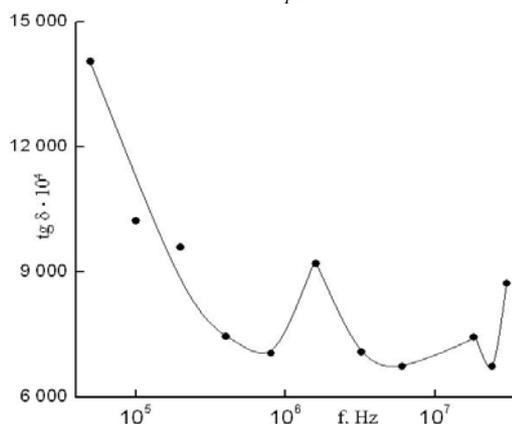


Рис.2. Частотная зависимость $tg\delta$ для монокристалла TIS.

С помощью формулы (1) по экспериментально найденным значениям $\sigma_{ac}(f)$ для образца TIS вычислили плотность состояний на уровне Ферми: $N_F = 2.65 \cdot 10^{20}$ эВ⁻¹·см⁻³. При вычислениях N_F для радиуса локализации образца TIS взято значение $a = 14 \text{ \AA}$ по аналогии с сульфидом галлия [5], а фононная частота v_{ph} принята равной $\sim 10^{12}$ Гц. Согласно теории прыжковой проводимости на переменном токе [3] среднее расстояние прыжков (R) определяется по следующей формуле:

мости на переменном токе [3] среднее расстояние прыжков (R) определяется по следующей формуле:

$$R = \left(\frac{1}{2\alpha} \right) \cdot \ln \left(\frac{v_{ph}}{f} \right) \quad (2)$$

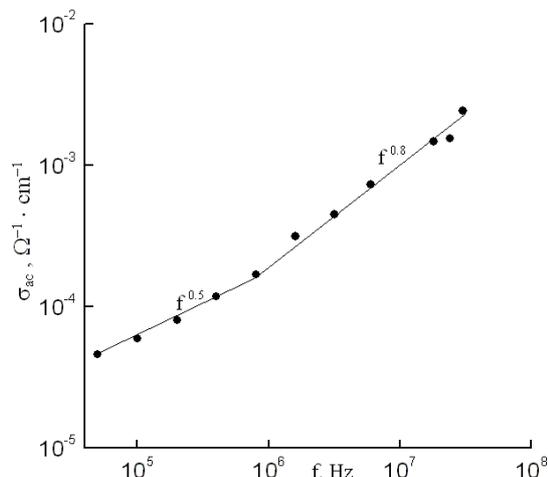


Рис.3. Частотно-зависимая ас-проводимость монокристалла TIS при 300 К

Вычисленное по формуле (2) значение R для образца TIS составляло 78 \AA . Среднее время прыжков ($\tau = 1/f$) в изученном TIS составляло $6.5 \cdot 10^{-8}$ с.

Таким образом, результаты по изучению частотной дисперсии диэлектрических коэффициентов монокристалла TIS позволили установить природу диэлектрических потерь, механизм переноса заряда и оценить плотность состояний вблизи уровня Ферми, среднее время и расстояние прыжков.

[1]. S.Kashida, K.Nakamura J. Solid State Chem. 1994. V. 110. P. 264 – 269.
 [2]. Ш.Г.Гасымов, Т.Г.Мамедов, Т.С.Мамедов и др. Структура, электрические и диэлектрические свойства монокристаллов TIS в интервале температур 250 – 440 К // Труды международной конференции «Fizika – 2005». Баку. ИФ НАНА. 2005. С. 307 – 313.
 [3]. Н.Мотт, Э. Дэвис Электронные процессы в некристаллических веществах./ Пер. с англ. М.: Мир 1974. 472 с.

[4]. M. Pollak Frequency dependence of conductivity in amorphous solids // Phil. Mag. 1971. V. 23. P. 519 – 542.
 [5]. V.Augelli, C.Manfredotti, R.Murri, R.Piccolo, L. Vasanelli Anomalous impurity conductivity in n-GaSe and n-GaS // L. Nuovo Cimento. 1977 V. B 38. No 2. P. 327 – 336.

Received:10.02.2007