

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ ТРИСЕЛЕНИДА МЫШЬЯКА

Работа поддержана проектом № 02.740.11.0544 федеральной целевой программы
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»
федерального агентства по образованию РФ

На основании экспериментальных кривых изотермической релаксации темнового тока в тонких пленках стеклообразного полупроводника $As_2Se_3(Bi)_x$ проведен расчет диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Обсуждается влияние высокопроводящих включений с повышенным содержанием примеси на процесс диэлектрической поляризации в исследуемых слоях.

Ключевые слова: диэлектрические параметры, микронеоднородные области, ХСП.

R. Castro, N. Anisimova, V. Bordovsky, G. Grabko

THE DIELECTRIC SPECTROSCOPY FOR As_2Se_3 MODIFIED LAYERS

On basis the experimental curves of the isothermal relaxation of dark electric currents in thin films of vitreous chalcogenide semiconductors $As_2Se_3(Bi)_x$ the permittivity and the dielectric loss were calculated. The influence of the conducting unites with the increasing of bismuth concentration on dielectric polarization process in the investigated layers are discussed.

Keywords: dielectric parameters, conducting unites, ChGS.

Последние годы триселенид мышьяка As_2Se_3 остается объектом пристального внимания, что обусловлено постоянно расширяющейся областью его практического применения, а также повышенным интересом к нему как к модельному объекту исследования физических свойств халькогенидных стеклообразных и аморфных полупроводников (ХСП) [1, 2]. Изучение влияния различных тех-

нологических факторов (способ изготовления образцов, изменение стехиометрического состава, введение примесей и т. д.) на поведение диэлектрических характеристик, таких как диэлектрическая проницаемость, ε' и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$, позволяет исследовать процессы поляризации внутренней структуры данных материалов. При этом дисперсия диэлектрических параметров ХСП хорошо изучена в частотном диапазоне: $10^1 \div 10^{10}$ Гц [3]. Ситуация для инфранизкочастотной (ИНЧ) области: $f < 10^1$ Гц, особенно в аморфных пленках, менее ясна. Более того, практически отсутствуют исследования влияния легирующих примесей на процессы поляризации этих систем в данном частотном диапазоне.

Целью этой работы явилось сравнение дисперсии диэлектрических параметров чистых и легированных висмутом тонких слоев As_2Se_3 в ИНЧ диапазоне, полученных обработкой экспериментальных кривых поляризационного тока.

Образцы, приготовленные методом высокочастотного распыления стекла (As_2Se_3) и сораспыления стекла и модификатора $((\text{As}_2\text{Se}_3)_{1-x}\text{Bi}_x)$, где $x = 0-0,2$, имели сэндвич конфигурацию с Al-электродами. Изготовление производилось на установке ионно-плазменного высокочастотного распыления типа УРМ-3-021, на частоте электромагнитного поля 13,6 МГц, в атмосфере аргона при давлении $8 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Ток в плазме составлял 400 мА, амплитуда ВЧ электромагнитного поля относительно катода равнялась 400 В. Толщина полученных пленок измерялась с помощью интерферометра МИИ-4 и была порядка 1 мкм. Площадь перекрытия электродов составляла 14,0 мм². Темновой ток регистрировался с применением электрометрического усилителя В7-30 (диапазон измеряемых токов от 10^{-15} до 10^{-7} А) и двухкоординатного самописца. Релаксационные кривые токов были измерены при разных значениях напряженности электрического поля E , лежащих в пределах от 10^2 до 10^4 В/см. По кривым $I(t)$ рассчитывались зависимости $\varepsilon'(f)$ и $\operatorname{tg}\delta(f)$ по методике, предложенной в [4].

Полученная гиперболическая зависимость тока от времени $I \sim t^{-n}$ ($n = 0,3 \div 0,78$) для As_2Se_3 при различных значениях E [5] может быть объяснена присутствием квазинепрерывного спектра локализованных состояний в запрещенной зоне ХСП [6]. Введение примеси Bi (20 ат. %) изменяет характер поляризационного процесса. В этом случае $I(t)$ описывается набором гипербол, отвечающим различным участкам спада тока. Наблюдается рост максимального значения I [7]. Значительные изменения кривых спада тока при переходе от чистых к примесным образцам могут быть связаны с появлением микронеоднородных областей с повышенной концентрацией примеси в основной матрице аморфной структуры [8].

Микронеоднородность данных материалов может оказывать влияние и на их диэлектрические свойства. Ниже приводится сравнение результатов расчета диэлектрических характеристик ($\varepsilon'(f)$, $\operatorname{tg}\delta(f)$) для исследуемых структур. На рис. 1 представлены частотные зависимости диэлектрической проницаемости для As_2Se_3 (1) и $\text{As}_2\text{Se}_3(\text{Bi})$ (2). Как видно из рисунка, величина ε' растет с уменьшением частоты, причем для примесных образцов этот процесс происходит более интенсивно. Большие значения ε' для обоих составов могут быть объяснены на основе модели [9], рассматривающей неоднородный диэлектрик

как структуру, которая имеет включения с различной степенью проводимости и которая при достаточно низких частотах может иметь значительную величину диэлектрической проницаемости. Возрастание ε' на порядок при переходе от As_2Se_3 к $\text{As}_2\text{Se}_3\langle\text{Bi}\rangle$ может быть связано с тем, что роль включений в примесных составах выполняют микронеоднородные области, обладающие большей проводимостью. Дополнительным подтверждением существенного изменения структуры исходного материала при введении примеси висмута служит вид диаграмм Коула—Коула $\varepsilon'' = f(\varepsilon')$ (рис. 2), из анализа которых следует вывод об увеличении количества групп релаксаторов в легированных образцах.

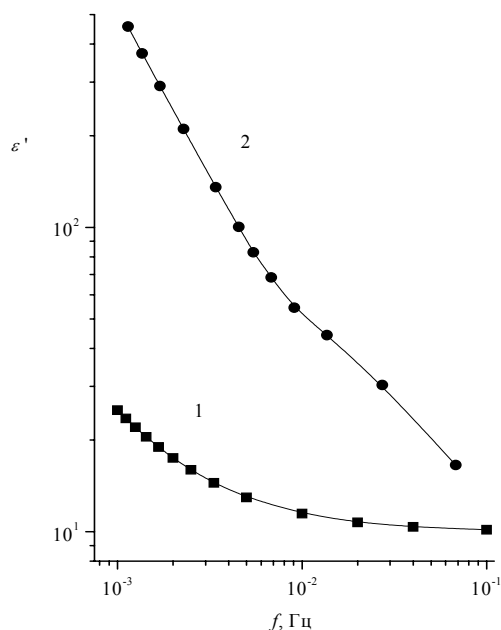


Рис. 1. Зависимость $\varepsilon'(f)$ для As_2Se_3 (1) и $\text{As}_2\text{Se}_3\langle\text{Bi}\rangle$ (2) при напряженности электрического поля E , В/см, $6 \cdot 10^2$ (1), 10^3 (2)

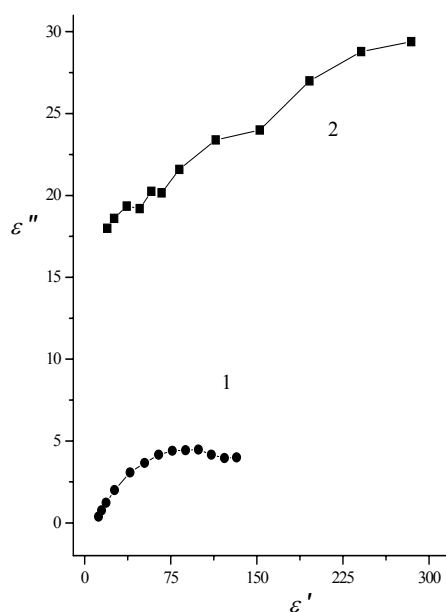


Рис. 2. Диаграммы Коула — Коула As_2Se_3 (1) и $\text{As}_2\text{Se}_3\langle\text{Bi}\rangle$ (2). E , В/см, 10^4 (1), $8 \cdot 10^2$ (2)

Характер кривых $\text{tg}\delta(f)$ также значительно различается при переходе от чистого к примесному составу. Если для As_2Se_3 на частотных зависимостях диэлектрических потерь имеется один максимум [2], то на тех же кривых для $\text{As}_2\text{Se}_3\langle\text{Bi}\rangle_x$ (рис. 3) достаточно четко видны два максимума.

На основе проведенных исследований можно сделать предположение о том, что обнаруженные отличия в поведении диэлектрических характеристик чистых и легированных Bi пленок As_2Se_3 , вероятно, связаны с наличием высокопроводящих микронеоднородных областей в примесных образцах.

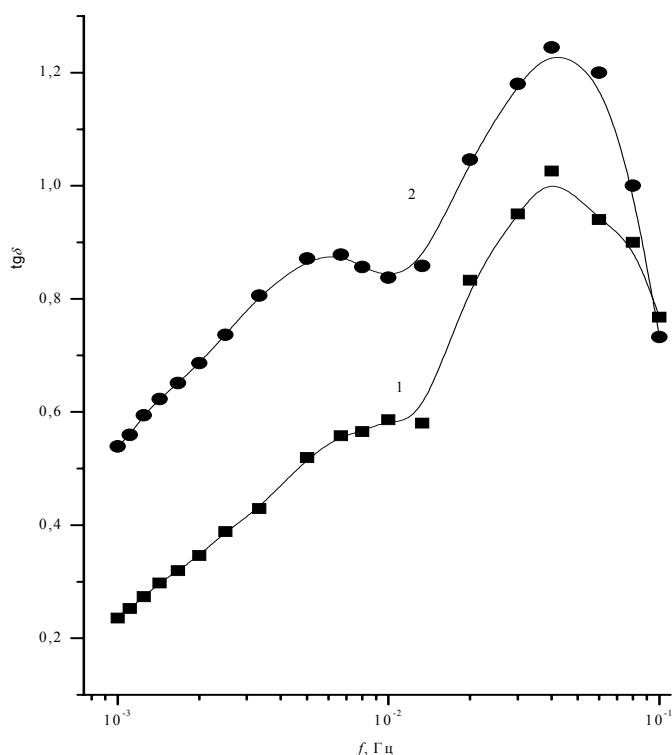


Рис. 3. Кривые $\text{tg}\delta(f)$ для $\text{As}_2\text{Se}_3\langle\text{Bi}\rangle$.
Напряженность электрического поля, В/см, 1– 10^3 ; 2– $6\cdot 10^3$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бордовский В. А., Кастро Р. А., Грабко Г. И., Татуревич Т. В. Анализ низкочастотной дисперсии диэлектрических параметров в аморфных слоях $\text{As}_x\text{Se}_{1-x}$ // ФХС. 2006. Т. 32. № 5. С. 724–728.
2. Кастро Р. А., Грабко Г. И., Татуревич Т. В. Исследование полевых и частотных зависимостей диэлектрических параметров в аморфных пленках α - As_2Se_3 // ФХС. 2007. Т. 33. № 2. С. 249–252.
3. Гутенев М. С. Дисперсия диэлектрической проницаемости халькогенидных стекол в широком диапазоне частот // ФХС. 1983. Т. 9. № 3. С. 291–301.
4. Луцейкин Г. А. Методы исследования электрических свойств полимеров. М.: Химия, 1980. 160 с.
5. Бордовский В. А., Кастро Р. А., Грабко Г. И., Татуревич Т. В. Особенности релаксационных процессов в пленках As_2Se_3 , полученных разными методами // ФХС. 2006. Т. 32. № 2. С. 246–250.
6. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1982. 662 с.
7. Анисимова Н. И., Бордовский В. А., Грабко Г. И., Кастро Р. А. Особенности механизма переноса заряда в структурах на основе тонких слоев триселенида мышьяка, модифицированного висмутом // ФТП 44, 8 (2010).
8. Гельмонт Б. Л., Цэндин К. Д. О примесной проводимости в стеклообразных модифицированных полупроводниках // ФТП. 1983. Т.17. № 6. С. 1040–1043.
9. Орешкин П. Т. Физика полупроводников и диэлектриков. М.: Высшая школа, 1977. 448 с.

REFERENCES

1. *Bordovskij V. A., Kastro R. A., Grabko G. I., Taturevich T. V.* Analiz nizkochastotnoj dispersii dijelektricheskikh parametrov v amorfnykh slozhakh As_xSe_{1-x} // FHS. 2006. T. 32. № 5. S. 724–728.
2. *Kastro R. A., Grabko G. I., Taturevich T. V.* Issledovanie polevykh i chastotnykh zavisimostej dijelektricheskikh parametrov v amorfnykh plenkakh α - As_2Se_3 // FHS. 2007. T. 33. № 2. S. 249–252.
3. *Gutenev M. S.* Dispersiya dijelektricheskoy pronicaemosti hal'kogenidnykh stekol v shirokom diapazone chastot // FHS. 1983. T. 9. № 3. S. 291–301.
4. *Luwejkin G. A.* Metody issledovaniya jelektricheskikh svojstv polimerov. M.: Himija, 1980. 160 s.
5. *Bordovskij V. A., Kastro R. A., Grabko G. I., Taturevich T. V.* Osobennosti relaksacionnykh processov v plenkakh As_2Se_3 , poluchennykh raznymi metodami // FHS. 2006. T. 32. № 2. S. 246–250.
6. *Mott N., Djevis JE.* Jelektronnye processy v nekrystallicheskih vewestvah. M.: Mir, 1982. 662 s.
7. *Anisimova N. I., Bordovskij V. A., Grabko G. I., Kastro R. A.* Osobennosti mehanizma perenosa zarjada v strukturah na osnove tonkikh sloev triselenida mysh'jaka, modificirovannogo vismutom // FTP 44, 8 (2010).
8. *Gel'mont B. L., Cjendin K. D.* O primesnoj provodimosti v stekloobraznykh modificirovannykh poluprovodnikakh // FTP. 1983. T. 17. № 6. S. 1040–1043.
9. *Oreshkin P. T.* Fizika poluprovodnikov i dijelektrikov. M.: Vysshaj shkola, 1977. 448 s.