

Исследование диэлектрических процессов в аморфных пленках $(As_2Se_3)_{1-x}Bi_x$

© Р.А. Кастро[¶], Г.И. Грабко

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
191186 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 2 ноября 2010 г. Принята к печати 19 ноября 2010 г.)

Проведен сравнительный анализ процесса диэлектрической поляризации, происходящего в беспримесных и легированных висмутом слоях модифицированного триселенида мышьяка. Установлено, что как сходство, так и различие поляризационных явлений обусловлено особенностями внутренней структуры исследуемых материалов. Обсуждаются механизмы наблюдаемых эффектов.

В работе [1] приводятся результаты сравнения дисперсии диэлектрических характеристик для беспримесных и легированных висмутом модифицированных слоев As_2Se_3 , позволившие сделать вывод о наличии нескольких групп релаксаторов, ответственных за поляризационные процессы, а также проанализировать изменения внутренней структуры исследуемых составов, обусловленных введением примеси. Однако измерения частотных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon'(f)$, $\text{tg } \delta(f)$ производились только при одной температуре, $T = 293$ К, и одной напряженности прикладываемого к образцам электрического поля, $E = 10^3$ В/см. Вследствие этого сложно сделать какие-либо выводы о влиянии внешних факторов на диэлектрические процессы изучаемых материалов.

В [2] аналогичные измерения производились в широком интервале температур, $T = 233–343$ К, но при этом использовались только легированные образцы $As_2Se_3(Bi)_x$ ($x = 10$ ат%). Данное обстоятельство затрудняет возможность определения воздействия легирующей добавки на диэлектрические свойства модифицированного триселенида мышьяка As_2Se_3 . Хотя исследование влияния примесей на различные физические свойства неупорядоченных полупроводников являются актуальными, как с точки зрения практического использования этих материалов, так и с точки зрения определения их внутренней структуры и, в частности, спектра локальных состояний. Поэтому представлялось интересным дополнить имеющийся экспериментальный материал изучением воздействия различных внешних факторов (варьирования частоты прикладываемого электрического поля, изменения температуры), а также введения примесей на процесс диэлектрической поляризации в модифицированных слоях триселенида мышьяка.

Таким образом, цель данной работы заключалась в исследовании температурно-частотных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости чистых и легированных Bi аморфных пленок As_2Se_3 .

Экспериментальные сэндвич-структуры $Al-(As_2Se_3)_{1-x}Bi_x-Al$, где $x = 0–0.1$, изготавливались методом высокочастотного напыления [1]. Толщина

пленок $(As_2Se_3)_{1-x}Bi_x$ была ~ 1 мкм, площадь перекрытия электродов ~ 14 мм². Измерение зависимостей $\epsilon'(f, T)$, $\text{tg } \delta(f, T)$ производилось по методике, описанной в [1,2]. Частота прикладываемого к образцам электрического поля варьировалась в пределах: $f = 5 \cdot 10^{-3}–10^5$ Гц, температура $T = 233–343$ К, а напряжение, подаваемое на них, составляло 0.1 В.

Сравнительный анализ диэлектрических параметров чистых и легированных висмутом образцов обнаруживает, что наряду со сходством поляризационных процессов данных составов у них имеются и определенные различия. И в том, и в другом случае с ростом температуры в инфранизкочастотном (ИНЧ) диапазоне, $f < 10$ Гц, наблюдается увеличение более чем на порядок вещественной составляющей комплексной диэлектрической проницаемости (рис. 1) и появление максимумов диэлектрических потерь на кривых $\text{tg } \delta(T)$. Причем чем больше f , тем при больших T проявляются эти эффекты. Аналогичные результаты были получены в [2].

Однако при одной и той же частоте значительные изменения ϵ' и $\text{tg } \delta$ для As_2Se_3 начинаются при более высоких температурах (см. рис. 1 и таблицу). В отличие от $As_2Se_3(Bi)$ для беспримесных образцов на кривых $\epsilon'(T)$ не наблюдаются области насыщения (по крайней мере в исследованном интервале температур). Из табличных данных следует, что если для легированных слоев величины максимумов $\text{tg } \delta_{\text{max}}$ возрастают с увеличением частоты электрического поля, то для исходных составов характерна противоположная ситуация. Помимо этого, нивелирование „аномальных“ особенностей температурных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости у As_2Se_3 начинается при меньших f . Так, в частности, последний максимум на кривой $\text{tg } \delta(T)$ для этих слоев отмечается при частоте $\sim 4 \cdot 10^{-1}$ Гц, а для примесных пленок $\sim 3–4$ Гц.

Отличие в наблюдаемых особенностях диэлектрических параметров можно объяснить на основе результатов [3]. В этой работе было установлено, что при приложении постоянного электрического поля к структурам $Al-As_2Se_3(Bi)_x-Al$ в прианодных слоях происходит накопление значительного заряда. Приконтактная область с повышенной концентрацией носителей заря-

[¶] E-mail: recastro@fromru.com

Экстремумы температурных зависимостей диэлектрических потерь для беспримесных и легированных висмутом образцов в инфранизком частотном диапазоне

As_2Se_3			$As_2Se_3(Bi)$ [2]		
f, Hz	T_{max}, K	$tg \delta_{max}$	f, Hz	T_{max}, K	$tg \delta_{max}$
10^{-2}	293	0.875	$5 \cdot 10^{-3}$	257	0.676
$2.35 \cdot 10^{-2}$	301	0.835	10^{-2}	262	0.712
$5.5 \cdot 10^{-2}$	307	0.815	$2.5 \cdot 10^{-2}$	266	0.722
$8 \cdot 10^{-2}$	311	0.812	$1.5 \cdot 10^{-1}$	278	0.763
$1.5 \cdot 10^{-1}$	315	0.811	1	299	0.8
$3.5 \cdot 10^{-1}$	323	0.809	3	311	0.937

да (НЗ) имеет определенную ширину d_k , емкость C_k и характеризуется плотностью локализованных состояний N_t . Изменение концентрации легирующей добавки от $x = 0$ до 10 ат% Bi сопровождается уменьшением d_k и увеличением C_k на порядок и возрастанием N_t почти на 2 порядка [3]. Помимо этого, увеличивается на порядок и подвижность НЗ, переносимых через запрещенную зону, при достижении $x = 10$ ат% Bi. В [3] значительные изменения характеристик (описывающих электронные процессы, которые происходят в приконтактных областях) при росте x связывались с существенным преобразованием внутренней структуры исследуемых соединений и появлением упорядоченных включений с повышенным содержанием примеси вследствие введения легирующей добавки [4].

Совокупность перечисленных факторов обеспечивает большую „чувствительность“ легированных образцов к внешним факторам воздействия. Как говорилось выше, это реализуется в том, что значительная трансформация кривых $\epsilon'(T)$, $tg \delta(T)$ при одной и той же f у $As_2Se_3(Bi)$ начинается при меньших температурах, величина $tg \delta_{max}$ для данных образцов с увеличением частоты возрастает (в противоположность уменьшению этого параметра у исходных составов), а нивелирование „аномалий“ температурных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости для легированных пленок начинается при больших f .

Теми же (перечисленными выше) причинами можно объяснить существенные различия поляризационных процессов, происходящих в исследуемых составах, которые наблюдаются в начале низкочастотной (НЧ) области: $f > 1$ Гц. На рис. 2 приведена дисперсия функции $\Delta tg \delta$, представляющей максимальное приращение температурных зависимостей тангенса угла диэлектрических потерь для образцов обоих типов, снятых при разных частотах f : $\Delta tg \delta = tg \delta_{max}(T) - tg \delta_{min}(T)$.

Как для легированных, так и для беспримесных слоев характерно наличие трех областей на частотных зависимостях $\Delta tg \delta$. Первая приблизительно совпадает с ИНЧ диапазоном $f < 1$ Гц, вторая — с началом НЧ интервала $f \approx 1-5 \cdot 10^2$ Гц и третья — $f > 5 \cdot 10^2$ Гц. Если в первой и третьей областях наблюдается отсутствие

зависимости функции $\Delta tg \delta$ от частоты и для As_2Se_3 , и для $As_2Se_3(Bi)$, то при $f \approx 1-5 \cdot 10^2$ Гц кривые $\Delta tg \delta(f)$ имеют значительные различия.

Резкий спад функции $\Delta tg \delta$ на этом частотном интервале у беспримесных пленок коррелирует с нивелированием „аномальных“ особенностей температурных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости данных составов. В противоположность этому для $As_2Se_3(Bi)$ при $f \approx 1-5 \cdot 10^2$ Гц на кривой $\Delta tg \delta(f)$ наблюдается максимум.

Согласно результатам работы [2], при этих частотах значительный заряд в приэлектродной области уже не успевает сформироваться. Тем не менее увеличение температуры продолжает „провоцировать“ в $As_2Se_3(Bi)$ тепловое движение группы релаксаторов, ответственных за резкое возрастание диэлектрической проницаемости в ИНЧ диапазоне, и попытки обмена какой-то частью носителей заряда локализованными центрами. „Противоре-

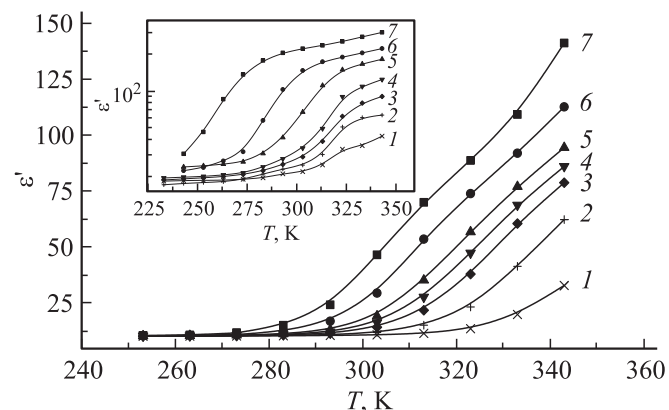


Рис. 1. Температурная зависимость вещественной составляющей ϵ' комплексной диэлектрической проницаемости для As_2Se_3 ; частота $f, Гц$: 1 — 1.0, 2 — $3.5 \cdot 10^{-1}$, 3 — $1.5 \cdot 10^{-1}$, 4 — $8 \cdot 10^{-2}$, 5 — $5.5 \cdot 10^{-2}$, 6 — $2.35 \cdot 10^{-2}$, 7 — 10^{-2} . На вставке — $\epsilon'(T)$ для $As_2Se_3(Bi)$; частота $f, Гц$: 1 — 10.0, 2 — 6.6, 3 — 4.25, 4 — 3.0, 5 — 1.0, 6 — $1.5 \cdot 10^{-1}$, 7 — $5 \cdot 10^{-3}$ [2].

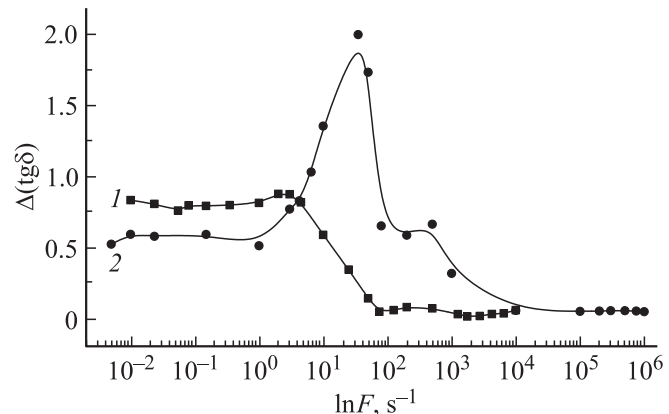


Рис. 2. Дисперсия максимального приращения тангенса угла диэлектрических потерь: 1 — As_2Se_3 , 2 — $As_2Se_3(Bi)$.

чие“ между результатами влияния двух факторов внешнего воздействия (T, f) и является причиной существенного увеличения диэлектрических потерь, характерного для легированных слоев в интервале $f \approx 1-5 \cdot 10^2$ Гц, особенно при повышении температуры. Значительное же отличие хода кривой $\Delta \operatorname{tg} \delta(f)$ беспримесных пленок обусловлено (как говорилось выше) меньшей „чувствительностью“ и, наверное, как следствие, большей „инертностью“ исходных составов по отношению к влиянию факторов внешнего воздействия.

Из дальнейшего анализа рис. 2 следует, что начиная с $f \approx 10^2$ Гц для As_2Se_3 и $f \approx 10^4$ Гц для $\text{As}_2\text{Se}_3(\text{Bi})$ наблюдается существенное уменьшение зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от температуры и частоты. По всей видимости, это говорит об окончательном изменении механизма поляризационного процесса и о совпадении его природы для исследуемых соединений. Скорей всего, начиная с $f \approx 10^4$ Гц диэлектрические явления в легированных слоях обусловлены действием собственных дефектов исходной матрицы As_2Se_3 данного состава [1,2], в качестве которых выступают заряженные центры, обладающие отрицательной корреляционной энергией D^+ , D^- [4]. Из этого можно сделать предположение, что при частотах $f > 10^4$ Гц области с повышенной концентрацией примеси (кластеры) оказывают слабое влияние на процесс диэлектрической поляризации в $\text{As}_2\text{Se}_3(\text{Bi})$.

Список литературы

- [1] Р.А. Кастро, В.А. Бордовский, Г.И. Грабко. Письма ЖТФ, **36** (17), 9 (2010).
- [2] Р.А. Кастро, В.А. Бордовский, Г.И. Грабко. Письма ЖТФ, **36** (20), 80 (2010).
- [3] Н.Н. Анисимова, В.А. Бордовский, Г.И. Грабко, Р.А. Кастро. ФТП, **44** (8), 1038 (2010).
- [4] *Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках*, под ред. К.Д. Цэндина (СПб., Наука, 1996).

Редактор Л.В. Беляков

Investigation of dielectric processes in amorphous films $(\text{As}_2\text{Se}_3)_{(1-x)}\text{Bi}_x$

R.A. Kastro, G.I. Grabko

Herzen Russian State Pedagogical University,
191186 Saint-Petersburg, Russia

Abstract A comparative analysis of dielectric polarization processes in undoped and Bi-doped layers of modified As_2Se_3 was made. It was established that as similarity and difference of polarization phenomena are due to peculiarity of internal structure of investigated materials. A mechanism of observed effects in discussed.