

06

Широкополосный диэлектрический отклик аморфных слоев As_2Se_3 , приготовленных разными методами

© Р.А. Кастро, Г.И. Грабко, Т.В. Татуревич

Российский государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург
E-mail: recastro@fromru.com

Поступило в Редакцию 4 февраля 2011 г.

В аморфных слоях As_2Se_3 , приготовленных методами термического испарения и ионно-плазменного высокочастотного распыления, изучены поляризационные процессы в переменном электрическом поле в диапазоне частот $f \sim 10^{-2} - 10^7$ Hz и в интервале температур 253–343 К. В результате проведенных исследований установлено значительное влияние способа изготовления образцов на диэлектрический отклик изучаемых структур, что связано со специфическими особенностями локализованных состояний.

Естественная разупорядоченность халькогенидных аморфных и стеклообразных полупроводников (ХСП), связанная с наличием оборванных связей и центров с повышенным координационным числом, обуславливает способность этих соединений к значительному накоплению заряда, что в свою очередь обеспечивает широкий потенциал их практического применения в качестве базовых элементов твердотельной электроники [1]. Для триселенида мышьяка As_2Se_3 , являющегося классическим представителем ХСП, характерно наличие низкокоординированной, лабильной структуры и широкого энергетического спектра локальных состояний, расположенных в запрещенной зоне, что предполагает

значительный диэлектрический отклик при воздействии переменного электрического поля [2,3].

Но, несмотря на то что халькогенидные стеклообразные и аморфные полупроводники, и в частности As_2Se_3 , продолжают оставаться объектом пристального внимания, до сих пор не существует единого подхода к объяснению физических явлений, происходящих во внутренних областях данных структур [4]. Не является исключением и вопрос, связанный с выяснением возможностей управления электронными свойствами аморфных пленок ХСП.

Одно из направлений решения этой проблемы связано с исследованиями влияния примесей различных металлов, а также отклонения от стехиометрии на проводимость данных систем, что обусловлено перспективностью получения гомогенных $p-n$ -переходов на их основе [4,5]. С другой стороны, эта задача может решаться посредством изучения воздействия модифицирования исследуемых соединений (т.е. изменения атомной структуры при сохранении химического состава) на их физические свойства [6].

Целью предлагаемой работы явилось изучение поляризационных процессов, происходящих в переменных электрических полях в инфранизкочастотном (ИНЧ) и низкочастотном (НЧ) диапазонах (ТИ) и ионно-плазменного высокочастотного (ВЧ) распыления.

ТИ-пленки получались испарением размельченного порошка триселенида мышьяка, засыпаемого в танталовую подложку открытого типа при давлении остаточных газов $\sim 10^{-5}$ mm Hg. Напыление осуществлялось на стеклянные подложки, расположенные на расстоянии 13–15 см от испарителя. ВЧ-пленки изготавливались методом высокочастотного напыления [2]. Толщина полученных пленок измерялась с помощью интерферометра МИИ-4 и была порядка $1 \mu m$. В сэндвич-структурах $Al-As_2Se_3-Al$ площадь перекрытия электродов составляла 14.0 mm^2 .

Измерения температурно-частотных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости слоев As_2Se_3 были выполнены в частотном интервале $f = 10^{-2} - 10^7$ Hz на спектрометре „Concept-41“ фирмы Novocontrol Technologies по методике, описанной в [2,3]. Температура исследуемых образцов T менялась в пределах 253–343 K, а напряжение, подаваемое на них, составляло 0.1 V.

Как в ТИ-, так и в ВЧ-слоях наблюдаются аномальная дисперсия вещественной составляющей комплексной диэлектрической проницаемости во всем исследованном частотном интервале и наличие максимумов

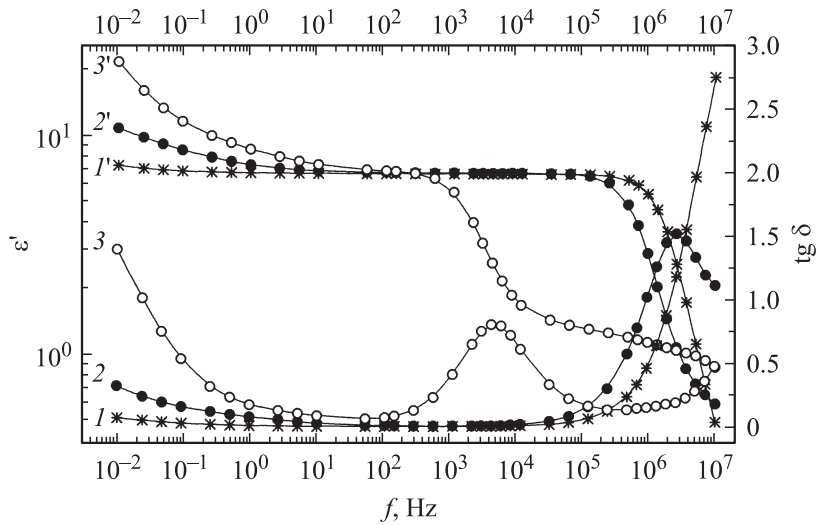


Рис. 1. Дисперсия составляющих комплексной диэлектрической проницаемости ТИ-слоев. Т, К: 1, 1' — 273; 2, 2' — 313; 3, 3' — 343.

диэлектрических потерь на кривых $\text{tg } \delta(f)$ (рис. 1, 2). Сопоставление зависимостей $\varepsilon'(f)$ и $\text{tg } \delta(f)$ позволяет сделать вывод о классическом поведении этих характеристик, когда положение максимального значения $\text{tg } \delta(f)$ и середины спадающей ветви кривой $\varepsilon'(f)$ совпадают [7].

Из сравнения диэлектрических параметров экспериментальных образцов обоих типов следует, что для ВЧ-слоев весь частотный интервал можно разбить на три участка — $f_1 < (10^0 - 10^1)$ Hz, $(10^0 - 10^1)$ Hz $< f_2 < 10^2$ Hz и $f_3 > 10^2$ Hz, на каждом из которых с увеличением f наблюдаются спадающие ветви характеристик $\varepsilon'(f)$ и соответствующие им максимумы диэлектрических потерь (рис. 2), а для пленок, полученных термическим испарением, на два — $f'_1 < (10^2 - 10^3)$ Hz (на котором обнаруживается аномальная дисперсия диэлектрической проницаемости, но отсутствуют релаксационные максимумы $\text{tg } \delta(f)$) и $f'_2 > 10^3$ Hz (рис. 1). В работах [2,3], где подобные измерения производились на аморфных слоях триселенида мышьяка, легированного висмутом, и наблюдались аналогичные особенности диэлектрических характеристик, был сделан вывод о наличии в изучаемых

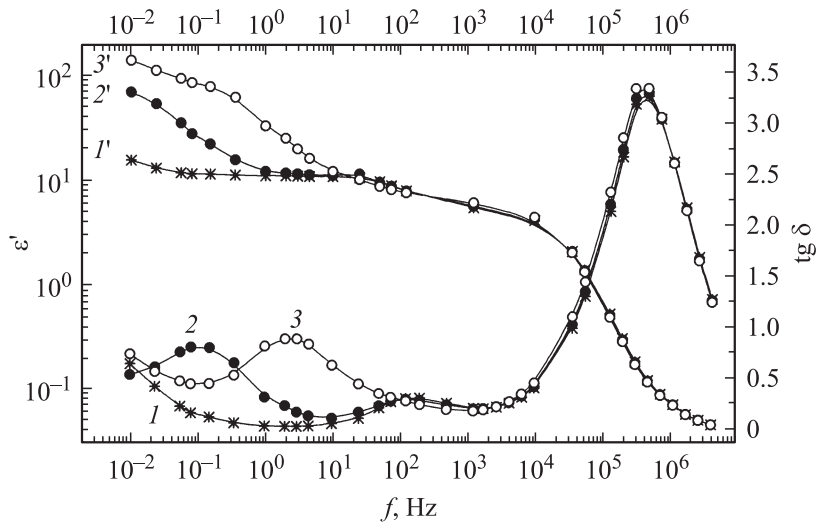


Рис. 2. Зависимости $\varepsilon'(f)$ ($1', 2', 3'$) и $\operatorname{tg} \delta(f)$ ($1, 2, 3$) для пленок, полученных ионно-плазменным высокочастотным напылением. T, K : $1, 1'$ — 283; $2, 2'$ — 313; $3, 3'$ — 343.

структурах нескольких групп релаксаторов. По-видимому, и в нашем случае закономерности поляризационного процесса связаны с наличием релаксационных групп в ТИ- и ВЧ-пленках.

Существенное изменение величины ε' в ИНЧ-области для одного и другого составов может быть обусловлено приэлектродными эффектами. В [2,3] подобные аномалии связывались с образованием и участием в поляризационном процессе значительного пространственного заряда, аккумулирующего в приэлектродной области исследуемых структур, и с его откликом на прикладываемое к образцам переменное электрическое поле. При этом сравнительный анализ диэлектрических параметров образцов обоих типов в ИНЧ-диапазоне обнаруживает, что наряду со сходством поляризационных процессов данных составов в этой частотной области (значительное изменение величины ε') у них имеются и существенные различия.

В отличие от ВЧ- для ТИ-слоев характерно отсутствие релаксационных максимумов $\operatorname{tg} \delta(f)$ (по крайней мере в исследованном

интервале f). Численное значение ε' почти на порядок больше у пленок, полученных ВЧ-напылением. В области инфранизких частот диэлектрический отклик ВЧ-слоев обнаруживает существенно большую зависимость от варьирования параметров внешнего воздействия (изменение частоты прикладываемого электрического поля и температуры). Так, в частности, с увеличением T для ВЧ-образцов обнаружено значительное смещение положения максимума диэлектрических потерь и спадающей ветви частотной зависимости ε' в сторону больших f . Изменения же составляющих комплексной диэлектрической проницаемости с ростом температуры у ТИ-слоев носят более „умеренный“ характер, что выражается в постепенном „плавном“ возрастании этих величин.

Перечисленные особенности дисперсии релаксационных характеристик позволяют сделать предположение о том, что спектр локальных состояний в приповерхностном слое (а именно с ними связывается образование пространственного заряда в приэлектродной области ответственного за аномальное поведение зависимостей $\varepsilon'(f)$ и $\operatorname{tg} \delta(f)$ в ИЧ-диапазоне) у аморфных пленок, полученных ионно-плазменным высокочастотным напылением, имеет более дискретный характер по сравнению с ТИ-слоями.

С другой стороны, в НЧ-области наблюдается кардинально противоположная ситуация. В низкочастотном диапазоне у ВЧ-образцов практически отсутствует зависимость поляризационного процесса от температуры. И наоборот, для пленок, полученных термическим испарением, обнаружены аномальные особенности диэлектрических характеристик при увеличении T (смещение спадающей ветви $\varepsilon'(f)$ и положения максимума $\operatorname{tg} \delta(f)$ в сторону меньших частот). По-видимому, в области низких f диэлектрическая поляризация исследуемых составов обусловлена действием другой группы релаксаторов (энергетический спектр которой имеет более дискретный характер теперь уже у ТИ-слоев).

В [2,3] предполагалось, что поляризационный процесс в НЧ-диапазоне, скорее всего, связан с диэлектрическим откликом заряженных дефектов D^+ , D^- , имеющих отрицательную корреляционную энергию и расположенных в объемных областях экспериментальных образцов. Наблюдаемые отличия релаксационных характеристик ТИ- и ВЧ-слоев также могут быть связаны со специфическими особенностями спектра заряженных центров D^+ , D^- , присущих данным составам. Согласно существующим представлениям [8], спектр локализованных

состояний в пленках, полученных термическим испарением, содержит глубокие ловушки для электронов, что и обуславливает дырочную проводимость этих структур. В противоположность этому в ВЧ-слоях установлен биполярный перенос носителей заряда, что может свидетельствовать об одинаковом распределении по энергиям ловушек для электронов и дырок.

Список литературы

- [1] *Kolobov A.V., Fons P., Frenkel A.I., Ankudinov A.L., Tominaga J., Uruga T.* // Nature Materials. 2004. V. 3. P. 703.
- [2] *Кастро Р.А., Бордовский В.А., Грабко Г.И.* // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 17. С. 9–15.
- [3] *Кастро Р.А., Бордовский В.А., Грабко Г.И.* // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 20. С. 80.
- [4] *Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках* / Под ред. К.Д. Цендина. СПб.: Наука, 1996. 486 с.
- [5] *Аверьянов В.Л., Коломиец Б.Т., Любин В.М., Приходько О.Ю.* // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. В. 5. С. 77.
- [6] *Sarsebinov Sh.Sh., Prikhodko O.Yu., Ryaguzov A.P., Maksimova S.Ya., Ushanov V.Zh.* // Semicond. Sci. Technol. 2004. V. 19 (7). P. 787.
- [7] *Мазурин О.В.* Электрические свойства стекла. Л.: Ленгосхимиздат, 1962. 163 с.
- [8] *Микла В.И., Семак Д.Г., Михалько И.П.* // Изв. вузов. Сер. Физ. 1977. Т. 5. С. 66.