

Влияние примесей металлов на дрейфовую подвижность носителей заряда в халькогенидных стеклообразных полупроводниках

© Л.П. Казакова, Э.А. Лебедев

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 29 декабря 1997 г. Принята к печати 31 декабря 1997 г.)

Проведено исследование дрейфовой подвижности носителей заряда в стеклообразных полупроводниках системы Se-As, легированных примесями Ag, Au, Pt. Установлено значительное увеличение дрейфовой подвижности электронов в образцах с примесью Ag. Полученные результаты объяснены в рамках модели заряженных дефектов.

Результаты исследования оптических и электрических свойств позволяют считать, что происхождение локализованных состояний, контролирующих дрейфовую подвижность носителей заряда в халькогенидных стеклообразных полупроводниках (ХСП) системы Se-As, связано с заряженными дефектами [1,2]. Путем легирования примесью, способной образовывать заряженные состояния, можно управлять концентрацией собственных заряженных дефектов [2,3]. Ранее нами было установлено, что введение галогенов, которые проявляются как электроотрицательная примесь, приводит к значительному увеличению дрейфовой подвижности дырок в ХСП [4,5].

В настоящей работе проведено исследование дрейфовой подвижности носителей заряда в ХСП системы Se-As при легировании металлами Ag, Au, Pt. Предполагалось, что металлы в отличие от галогенов могут проявляться как электроположительная примесь. Особый интерес представляет примесь серебра, поскольку с ней связаны такие явления, как отрицательная фотопроводимость [6], эффект памяти и переключения [7].

Примесь вводилась в процессе синтеза, концентрация ее составляла 0.1–5.7 ат%. Измерения проводились на образцах типа "сэндвич". Они представляли собой как слои, приготовленные механическим способом из слитка синтезированного материала, так и тонкие пленки, полученные методом термического испарения в вакууме. В качестве материала электродов использовались Al, In₂O₃, аквадаг. Один из электродов был полупрозрачным. Концентрация примеси в пленках принималась равной содержанию ее в навеске.

Исследование дрейфовой подвижности проводилось методом измерения времени пролета [8,9]. Поскольку в ХСП системы Se-As с примесью металлов форма зависимости фототока от времени была типичной для дисперсионного переноса, время пролета t_T определялось по излому на зависимости $I(t)$, построенной в двойном логарифмическом масштабе [10]. Значение дрейфовой подвижности рассчитывалось по формуле $\mu = L/t_T F$, где L — толщина образца, F — напряженность электрического поля.

На рис. 1 приведены зависимости фототока от времени, полученные в слоях Se_{0.95}As_{0.05} с содержанием 5.7 ат% Ag. Время пролета отмечено стрелками. Видно,

что введение примеси серебра приводит к изменению времени пролета носителей заряда. Для дырок t_T возрастает, а для электронов — уменьшается. Подвижность дырок соответственно уменьшается от $2 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-5}$ см²/В·с, подвижность электронов возрастает от $6 \cdot 10^{-5}$ до $1.1 \cdot 10^{-3}$ см²/В·с.

Подобный характер изменений подвижности дырок наблюдается и в As₂Se₃ при введении примесей металлов Ag и Pt (рис.2). Электроны в этом материале практически неподвижны. При легировании дрейфовая подвижность дырок уменьшается от $1.5 \cdot 10^{-5}$ см²/В·с в чистом материале до $3 \cdot 10^{-6}$ см²/В·с и $6 \cdot 10^{-7}$ см²/В·с при содержании в As₂Se₃ 2 ат% Ag и 0.1 ат% Pt соответственно. Также к уменьшению подвижности дырок приводило введение примеси Au. При содержании золота 0.2 ат% значение подвижности составляло $5 \cdot 10^{-6}$ см²/В·с.

Температурные измерения показали, что при введении серебра наблюдается существенное изменение энергии активации проводимости (на 0.2 эВ). В то же время энергия активации дрейфовой подвижности носителей заряда практически не изменялась. В слоях Se_{0.95}As_{0.05} с примесью Ag значения энергии активации дрейфовых по-

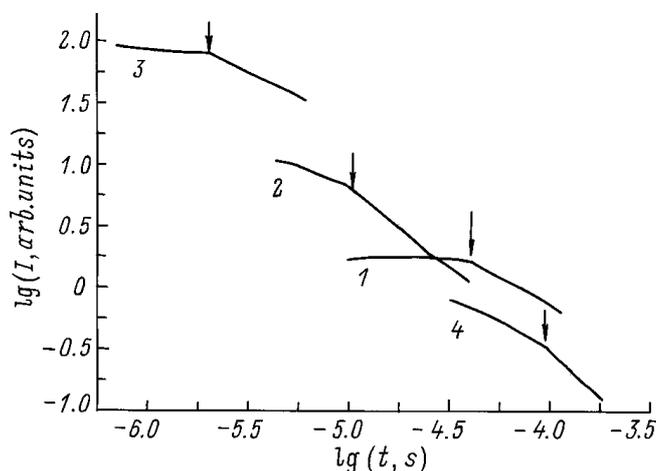


Рис. 1. Зависимости $I(t)$, полученные для электронов (1,3) и дырок (2,4) в пленках Se_{0.95}As_{0.05} (1,2) и Se_{0.95}As_{0.05} с содержанием 5.7 ат% Ag (3,4). $F = 10^5$ В/см, L мкм: 1,2 — 2.3; 3,4 — 2.2.

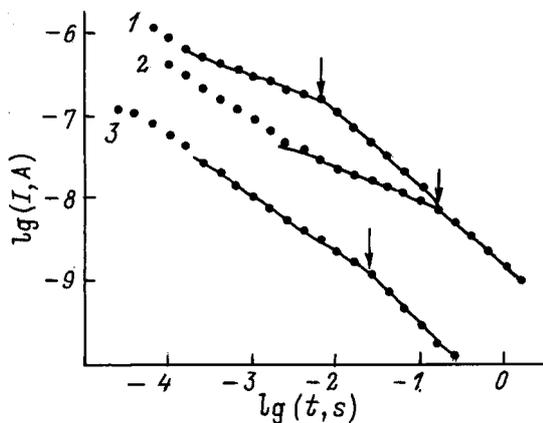


Рис. 2. Зависимости $I(t)$ для дырок, полученные в объемных образцах As_2Se_3 (1), As_2Se_3 с содержанием 0.1 ат% Тl (2) и As_2Se_3 с содержанием 2 ат% Ag (3). $F = 1.4 \cdot 10^5$ В/см; L , мкм: 1 — 120, 2 — 115, 3 — 100.

движностей электронов и дырок находились в пределах $0.45 \div 0.48$ эВ. В объемных образцах As_2Se_3 с примесью Ag энергия активации дрейфовой подвижности составляла $E \approx 0.6$ эВ для дырок. Более высокие значения энергии активации в последнем случае, видимо, обусловлены дисперсионным характером переноса в As_2Se_3 , при котором наблюдается зависимость дрейфовой подвижности от толщины образцов [9].

Изменение дрейфовой подвижности при легировании может быть вызвано изменением концентрации локализованных состояний, контролирующей ее величину. Полагая, что дрейфовая подвижность контролируется дискретным уровнем локализованных состояний, выражение для ее величины можно записать следующим образом [11]: $\mu = \mu_0(N_c/N_t) \exp(-\varepsilon/kT)$, где μ_0 — подвижность носителей заряда в зоне делокализованных состояний, N_c и N_t — эффективные плотности делокализованных и локализованных состояний соответственно, ε — расстояние уровня локализованных состояний от края зоны делокализованных состояний. Если природа локализованных состояний связана с заряженными дефектами типа D^+ - и D^- -центров, то величина дрейфовой подвижности электронов обратно пропорциональна концентрации D^+ -центров, а подвижность дырок — D^- -центров.

В предположении, что металлы действуют как заряженная примесь [2,3], при добавлении положительно заряженной примеси A^+ должен выполняться закон электронейтральности, который для концентраций заряженных примесей и дефектов представляется в следующем виде $[A^+] + [D^+] = [D^-]$. Количественное соотношение между концентрациями заряженных дефектов, образующихся из исходных нейтральных дефектов D^0 по реакции $2D^0 \rightarrow D^+ + D^-$, в соответствии с законом действующих масс записывается в виде $[D^+][D^-] = [D^0]^2 = \text{const}$. Согласно последнему уравнению и уравнению электронейтральности, при введении электроположительной

примеси концентрация отрицательно заряженных собственных дефектов $[D^-]$ возрастает, а концентрация положительно заряженных дефектов $[D^+]$ уменьшается. Следовательно, дрейфовая подвижность дырок уменьшается, а подвижность электронов — возрастает. Подобный характер поведения дрейфовых подвижностей носителей заряда наблюдается в эксперименте при введении в ХСП примесей металлов Ag, Au, Tl.

Из сопоставления полученных данных с результатами работ [4,5] следует, что по эффективности влияния на дрейфовую подвижность металлы уступают галогенам. Так, существенное увеличение подвижности дырок при введении галогенов наблюдается при содержании примеси $10^{-4} \div 10^{-2}$ ат%, а менее значительное возрастание подвижности электронов достигается при концентрации серебра порядка $1 \div 6$ ат%.

В результате проведенной работы при введении примесей металлов в ХСП системы Se-As получено значительное увеличение дрейфовой подвижности электронов. Этот результат, так же как и установленное нами ранее [4,5] существенное возрастание подвижности дырок при введении примесей галогенов, согласуется с моделью заряженных дефектов. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что примесь металлов может проявляться в ХСП как положительно заряженные центры.

Авторы выражают благодарность К.Д. Цэндину за ценные замечания при обсуждении работы.

Работа проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 97-02-18079).

Список литературы

- [1] R.A. Street, N.F. Mott. Phys. Rev. Lett., **35**, 1293 (1975).
- [2] M. Kastner, D. Adler, H. Fritzsche. Phys. Rev. Lett., **37**, 1504 (1976).
- [3] H. Fritzsche, M. Kastner. Phil. Mag. B, **37**, 285 (1978).
- [4] Л.П. Казакова, Э.А. Лебедев, А.И. Исаев, С.И. Мехтиева, Н.Б. Захарова, И.И. Ятлинко. ФТП, **27**, 959 (1993).
- [5] L.P. Kazakova, E.A. Lebedev, N.B. Zakharova, I.I. Yatlanko, A.I. Isaev, S.I. Mekhtieva. J. Non-Cryst. Sol., **167**, 65 (1994).
- [6] Б.Т. Коломиец, Э.А. Лебедев, Л.П. Казакова, Н.А. Рогачев. ФТП, **7**, 187 (1973).
- [7] Б.Т. Коломиец, Г.А. Андреева, Э.А. Лебедев, И.А. Таксами, В.Х. Шпунт. Приборы и системы управления, **4**, 27 (1980).
- [8] W.E. Spear. J. Non-Cryst. Sol., **1**, 197 (1969).
- [9] Л.П. Казакова, Б.Т. Коломиец, Э.А. Лебедев, С.А. Таурайтене. ФТП, **21**, 274 (1987).
- [10] G. Pfister, H. Scher. Phys. Rev. B, 2062 (1977).
- [11] А. Роуз. Основы теории фотопроводимости (М., Мир, 1969) с 140.

Редактор Т.А. Полянская

Effect of metallic impurities on the carrier drift mobility in chalcogenide glassy semiconductors

L.P. Kazakova, E.A. Lebedev

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract Carrier drift mobility has been measured in Se-As glasses doped with Ag, Au, Tl. A significant increase in the electron drift mobility was observed for samples doped with Ag. The results obtained have been explained in terms of a charged defect model.