

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ДИФФУЗИЯ ЛИТИЯ В p -ZnSe

А. Н. Краснов, Ю. Ф. Ваксман, Ю. Н. Пуртов

Одесский государственный университет им. И. И. Мечникова, 270029, Одесса, Россия, Украина
(Получено 9.07.1992. Принято к печати 20.07.1992)

Существует два основных способа определения коэффициента диффузии примеси в полупроводниках. Первый основан на измерении толщины образующегося в результате легирования p - n -перехода, второй — на измерении интенсивности полос фотолюминесценции при сканировании световым зондом вдоль поверхности наклонного шлифа. В литературе имеется значительное количество сообщений по изучению диффузии примесей в монокристаллах селенида цинка. Наряду с этим, миграция атомов лития остается практически неизученной. Первый способ осложнен ярко выраженной монополярностью полупроводника. Необходимым условием применения второго метода является пропорциональность интенсивности рассматриваемой полосы фотолюминесценции концентрации образующихся при диффузии центров. Однако наблюдаемое в ряде работ [1, 2] поведение связанной с литием полосы в области 460 нм не носит ярко выраженной концентрационной зависимости.

Согласно [3], акцепторная примесь лития наименьшим образом подвержена эффектам компенсации со стороны кристаллической решетки селенида цинка. Последнее обуславливает актуальность ее более полного исследования, в частности диффузии, в целях получения высокопроводящего p -ZnSe.

В настоящей работе коэффициент диффузии определялся по измерениям профиля величины электропроводности σ в кристаллах ZnSe, отожженных при 950 °C в расплаве селена, с последующим легированием литием. В [4] нами показано, что обработка в расплаве селена приводит к увеличению концентрации катионных вакансий. Последнее, согласно [5, 6], затрудняет компенсацию проводимости, имеющую место при выходе Li в междоузлия. Методика изучения распределения величины σ по объему кристалла при помощи прижимного зонда оказалась в данном случае неприемлемой. Это объясняется как плохим качеством контакта зонд—полупроводник, так и возможным изменением состава протяженных дефектов в местах укола, что вызывает локальное перераспределение центров. Поэтому в качестве омических контактов использовалось золото, напыляемое эквидистантно при помощи специально изготовленной маски на поверхность наклонного шлифа. Диаметр контактов составлял ~100 мкм. При этом погрешность определения расстояния x , измеряемого в глубину кристалла, оценивалась как ~10 мкм.

Знак термоэдс и ЭДС Холла свидетельствовал о дырочной проводимости образцов. На рис. 1 представлена зависимость величины электропроводности ZnSe:Li от расстояния в глубину кристалла. По мере увеличения координаты x наблюдается уменьшение значения σ . Учитывалось, что литий диффундирует в кристалл из источника постоянной концентрации. В этом случае для определения коэффициента диффузии D_{\square} использовалось соотношение

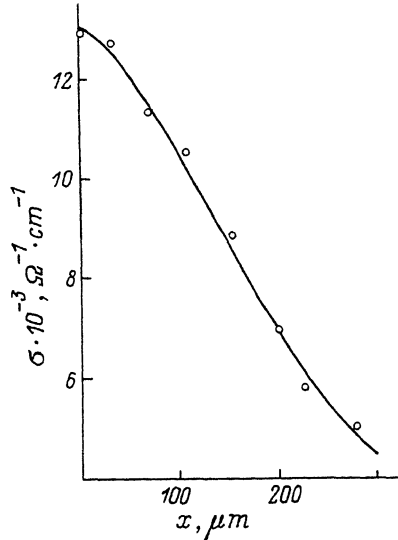


Рис. 1. Диффузионный профиль величины σ в кристаллах ZnSe : Li. Сплошная линия рассчитана в соответствии с (1).

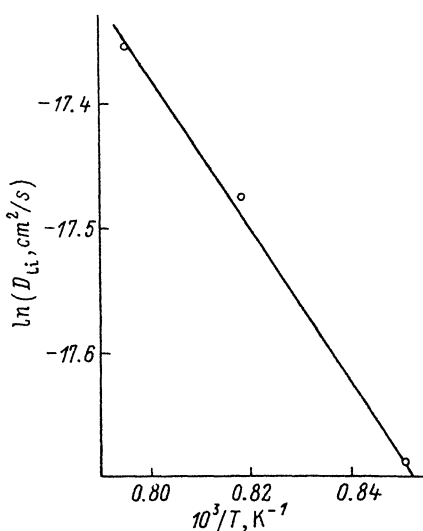


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента диффузии лития в ZnSe.

$$C(x) = C_0 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D_{\text{Li}}t}}, \quad (1)$$

где $C(x)$ и C_0 — концентрации электрически активных центров соответственно при текущей координате и при $x=0$, t — время легирования образца.

Согласно соотношению (1), по экспериментальной зависимости (рис. 1) определен коэффициент диффузии лития в ZnSe при температуре 900 °C он равен $2.03 \cdot 10^{-8}$ см²/с.

Расчет диффузионного профиля Li для температур 950 и 980 °C дает значения D_{Li} соответственно $2.55 \cdot 10^{-8}$ и $2.85 \cdot 10^{-8}$ см²/с, что делает возможным определить температурную зависимость коэффициента диффузии лития. Значение энергии активации процесса диффузии, равное 0.49 эВ, получено по наклону прямой линии (рис. 2), которая соответствует температурной зависимости D_{Li} в координатах $\ln D_{\text{Li}} - 1/T$, т. е. температурная зависимость D_{Li} хорошо описывается выражением

$$D_{\text{Li}} = 2.66 \cdot 10^{-6} \exp(-0.49/kT), \text{ см}^2/\text{с}, \quad (2)$$

где k — постоянная Больцмана. В полупроводниках с тетраэдрической связью диффузия атомов протекает достаточно быстро. Следует отметить, что найденная экспериментально величина энергии активации процесса диффузии для кристаллов ZnSe : Li лишь немногим больше энтальпии образования междоузельного донороподобного состояния Li_i^+ , равной 0.4 эВ [6]. Незначительное расхождение можно, в частности, объяснить меньшим смещением соседних атомов селена в направлении Li, находящегося в положении замещения, при релаксации решетки по сравнению со смещением, имеющим место в кристаллах стехиометрического состава. Таким образом, в рассматриваемой ситуации диффузия лития осуществляется путем выхода атома из узла катионной подрешетки с последующим перескоком на незанятые цинком места, т. е. по вакансионному механизму.

Причем с увеличением концентрации вакансий цинка вероятность таких пере-скоков будет увеличиваться.

Прогрев кристаллов ZnSe : Li в течение 15 мин при температуре выше 200 °С в нейтральной атмосфере приводил к деградации дырочной проводимости. Исследование под люминесцентным микроскопом ЛЮМAM-И1 поверхности прогретых образцов указывает на образование в них макроскопических скоплений, которые наблюдаются в виде пятен размером ~2 мкм. В образцах ZnSe : Li, не подвергнутых подобной обработке, таких особенностей не обнаружено.

Указанный факт позволяет предположить, что уменьшение электропроводности при прогреве образцов происходит вследствие выделения лития из кристаллической решетки в виде вкраплений второй фазы. Подобный процесс может протекать двояким образом: либо путем выхода атома Li в нейтральной форме в междоузлие из узла катионной подрешетки, либо путем перезарядки примесного атома и его кулоновского взаимодействия с отрицательно заряженной дислокацией. Указанное состояние дислокаций в ZnSe обсуждается, например, в [7].

Таким образом, сравнительно малая экспериментально определенная величина энергии активации процесса диффузии лития в ZnSe является причиной быстрой деградации дырочной проводимости кристаллов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] J. L. Merz, K. Nassau, J. W. Shiever. Phys. Rev. B, 8, 1444 (1973).
- [2] R. N. Bhargava, R. J. Seymour, B. J. Fitzpatrick, S. P. Herko. Phys. Rev. B, 20, 407 (1979).
- [3] D. J. Chadi, K. J. Chang. Appl. Phys. Lett., 55, 575 (1989).
- [4] А. Н. Краснов, Ю. Ф. Ваксман, Ю. Н. Пургов, В. В. Сердюк. Деп. в УкрИНТЕИ. 1992. № 390, Ук-92.
- [5] М. Е. Агельменев, А. Н. Георгобиани, З. П. Илюхина, М. С. Клейбанов, А. Д. Левит, Л. С. Лепнев. Изв. АН СССР. Неорг. матер., 25, 731 (1989).
- [6] G. F. Neumark. J. Appl. Phys., 51, 3383 (1980).
- [7] S. Myhajlenko, J. L. Batstone, H. J. Hutchinson, J. W. Steeds. J. Phys. C, 17, 6477 (1984).

Редактор Л. В. Шаронова

ФТП, том 27, вып. 3, 1993

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК $(\text{Sn}_{0.8}\text{Ge}_{0.2})_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ

С. Ф. Мусихин, С. А. Немов, В. И. Прошин, И. Е. Семин,
Д. В. Шамшур, А. В. Березин, С. Д. Имамкулиев

Санкт-Петербургский государственный технический университет, 195251, Санкт-Петербург, Россия
(Получено 15.07.1992. Принято к печати 20.07.1992)

В настоящей работе исследованы электрофизические свойства, в том числе, связанные с явлением сверхпроводимости, пленочных образцов в системе твердых растворов $(\text{Sn}_{0.8}\text{Ge}_{0.2})_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$, полученных методом лазерного вакуумного напыления соединения на слюдяные подложки. Как известно [1], этот метод обеспечивает высокую воспроизводимость состава мишени в получаемой пленке, даже в случае такого сложного четверного состава, как исследуемый нами.

В качестве источника лазерного излучения был использован твердотельный лазер ЛТИ-205 на основе алюмо-иттриевого граната, легированного ниодимом (YAG(Nd)), с излучением на длине волны 1.06 мкм. Энергия в импульсе