

скорость поперечного амбиполярного дрейфа, $v_d(E)$ — дрейфовая скорость электронов в электрическом поле, $D_k \approx 10^2$ см/с, $b_k = 2 \cdot 10^6$ CGSE — коэффициент диффузии и подвижность дырок, x — координата, отсчитываемая от поверхности, на которую отжимается плазма при МКЭ.

С ростом H толщина плазменного слоя δ уменьшается и отражение от него усиливается. При $v_d \approx 5 \cdot 10^7$ см/с и $H > 3$ кЭ $\delta < 2 \cdot 10^{-5}$ см $\ll \lambda/n$. Поскольку плазменный слой определяет величину тока, $N_0 \sim I(H) H$ (ввиду

$$I \sim \int_0^{\delta} N dx \sim N_0 \delta). \text{ Поэтому в области магнитных полей, соответствующих}$$

проявлению ПП (рис. 1; ток растет с магнитным полем), N_0 суперлинейно увеличивается с магнитным полем, а затем насыщается по мере спада $I(H)$ (рис. 2, а). Соответственно $\Delta R/R_0$ растет с увеличением H (но менее резко, поскольку усиливается отражение, обусловленное большим градиентом показателя преломления в плазменном слое), а затем по мере насыщения N_0 уменьшается.

При увеличении электрического поля толщина слоя δ меняется незначительно ввиду насыщения дрейфовой скорости, а N_0 возрастает (усиливается ПП). Отсюда и растущая зависимость $(\Delta R/R_0)(E)$. Изменение характера чередования расчетных $N_0(E)$ и измеренных $(\Delta R/R_0)(E)$ при разных магнитных полях вызвано более сильным отражением при увеличении магнитного поля.

При расчете $\Delta R/R_0$ (рис. 2, а, б) использовались уравнения волновой оптики с учетом зависимости диэлектрической проницаемости от концентрации плазмы $N(x)$. Схема расчета аналогична приведенной в работе [5]. Хорошее согласие вычисленных и измеренных значений $(\Delta R/R_0)(H, E)$ позволяет считать, что расчетные величины $N_0(H, E)$ при ПП соответствуют реальным.

Список литературы

- [1] Glicksman M., Nicinbothem W. A. // Phys. Rev. 1963. V. 129. N. 4. P. 1572—1577. Toda M., Glicksman M. // Phys. Rev. 1965. V. 140. N. 4A. P. 1317—1323.
- [2] Абдурахманов С. Н., Владимиров В. В., Горшков В. Н. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 3. С. 378—383.
- [3] Владимиров В. В., Горшков В. Н., Коллюх А. Г., Малютенко В. К. // ЖЭТФ. 1982. Т. 82. В. 6. С. 2001—2006.
- [4] Смит Р. Полупроводники. М., 1982. 560 с.
- [5] Алмазов Л. А., Липтуга А. И., Малютенко В. К., Федоренко Л. Л. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 10. С. 1940—1946.

Институт полупроводников
АН УССР
Киев

Получено 15.12.1988
Принято к печати 7.03.1989

ФТП, том 23, вып. 7, 1989

ЭПР И МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ДЕФЕКТНЫХ КРИСТАЛЛОВ $A_2^{III}V_3^{VI}$, ЛЕГИРОВАННЫХ МАРГАНЦЕМ

Аскеров И. М., Мастеров В. Ф., Романов В. В., Штельмах К. Ф.

В работе [1] сообщалось, что в соединениях Ga_2S_3 марганец находится в состоянии $Mn^{2+}(3d^5)$, при этом спектр ЭПР такого центра может представлять собой либо одиночную широкую линию с $g=1.995$ в образцах без предварительной термообработки, либо разрешенную сверхтонкую структуру с $g=2.003$ и $A=81$ Э в образцах после отжига при $T=1250$ К, $t_{отж}=450$ ч.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования ЭПР и магнитной восприимчивости образцов Ga_2S_3 и Ga_2Se_3 , легированных марганцем. Образцы получены стандартным методом [2], причем марганец растворялся

в жидком галлии при $T=1100^\circ\text{C}$ в течение 8 ч. В соединении Ga_2S_3 марганец вводился в широком диапазоне концентраций (0.001–5 ат%); проценты определяются от обеих компонент соединения. Показано, что в этих двух соединениях центр марганца имеет различную симметрию кристаллического поля. В Ga_2S_3 существуют кластеры обменно-связанных ионов, а в Ga_2Se_3 — центры марганца с ромбоэдрической симметрией.

Измерения ЭПР проводились на спектрометрах SE/X-2543 и ER-220D в интервале температур 4–290 К. Магнитная восприимчивость измерялась на установке MGD-312FG в том же диапазоне температур.

На рис. 1 приведены спектры ЭПР марганца в поликристаллических образцах Ga_2S_3 и Ga_2Se_3 . Отличительной особенностью состояний марганца в этих соединениях является то, что в образце Ga_2S_3 , который, по данным рентгено-

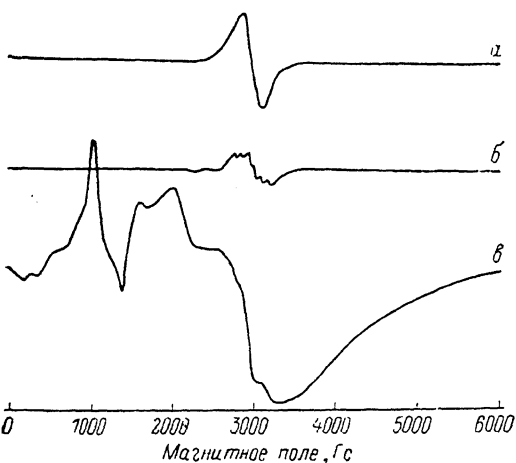


Рис. 1. Спектры ЭПР образцов $\text{Ga}_2\text{S}_3\langle\text{Mn}\rangle$ и $\text{Ga}_2\text{Se}_3\langle\text{Mn}\rangle$.

a — неотожженные образцы $\text{Ga}_2\text{S}_3\langle\text{Mn}\rangle$, *б* — ото-
жженные образцы $\text{Ga}_2\text{S}_3\langle\text{Mn}\rangle$, *в* — $\text{Ga}_2\text{Se}_3\langle\text{Mn}\rangle$.

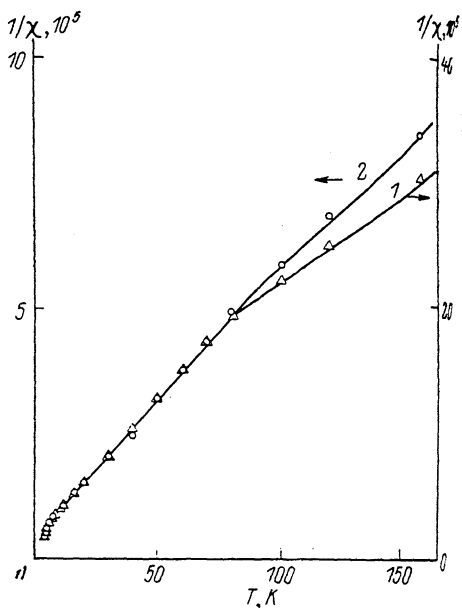


Рис. 2. Температурная зависимость объемной статической магнитной восприимчивости χ образцов Ga_2S_3 , легированных марганцем.

Mn, ат%: 1 — 0.1, 2 — 1.

структурного анализа, имеет моноклинную структуру, симметрия центров марганца кубическая, в то время как в кубическом Ga_2Se_3 , кроме кубических центров, имеются и ромбоэдрические [3], обуславливающие спектр ЭПР с $g=4.21$ (рис. 1). Параметры спектра разрешенной СТС (образцы $\text{Ga}_2\text{S}_3\langle\text{Mn}\rangle$ после отжига) практически совпадают с определенными в [1]. Однако, по нашим измерениям, в неотожженных образцах $\text{Ga}_2\text{S}_3\langle\text{Mn}\rangle$ g -фактор уширенной одиночной линии также оказывается равным $g=2.005 \pm 0.003$, что указывает на идентичность центров марганца в том и другом случаях. Кубические центры марганца в Ga_2S_3 образуются скорее всего в результате захвата атомов марганца стехиометрической вакансией, имеющей, как известно, тетраэдрическое окружение [4]. Уширенная линия в неотожженных образцах обусловлена кластерами обменно-связанных атомов марганца в близко расположенных вакансионных позициях. В пользу такого предположения свидетельствует обменное сужение линии. При увеличении концентрации марганца от 0.01 до 1 ат% ширина линии уменьшается от $\Delta H_{pp}=246$ до $\Delta H_{pp}=175$ Э. Кроме того, наличие обменно-связанных центров марганца проявляется на температурной зависимости неотожженных образцов $\text{Ga}_2\text{S}_3\langle\text{Mn}\rangle$ (рис. 2). В интервале температур 8–80 К зависимость $\chi(T)$ описывается законом Кюри–Вейсса с $\Theta=-6$ К, что свидетельствует об антиферромагнитном характере обменного взаимодействия между

центрами марганца в кластере. При $T > 80$ К ход температурной зависимости определяется, по-видимому, предвыделениями второй фазы, которые нами не идентифицированы.

Тот факт, что независимо от концентрации марганца $\Theta = -6$ К, свидетельствует в пользу образования кластера из центров марганца, занимающих определенные (ближайшие) позиции вакансий в структуре Ga_2S_3 . Высокотемпературный длительный отжиг образцов приводит к более равномерному распределению марганца по решетке кристалла, так что в спектре ЭПР проявляются только одиночные центры кубической симметрии.

Кристаллы Ga_2Se_3 имеют кубическую структуру типа сфалерита с неупорядоченным распределением вакансий. Поэтому можно ожидать, что спектр ЭПР будет близок к спектру Mn^{2+} в стеклах. Действительно, как видно из рис. 1, спектр центров марганца в этом случае близок по форме и по значениям g -фактора к спектру, наблюдаемому в неупорядоченных системах (см., например, [5]). Можно предположить, что и поведение примеси в этом случае будет таким же, как и в стекле.

Список литературы

- [1] Askerov I. M., Mekhrabov A. O., Aslanov G. K. et al. // Phys. St. Sol. (a). 1988. V. 105. P. K151.
- [2] Аллазов М. Р., Бабаева П. К., Рустамов П. Г. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1979. Т. 15. В. 7. С. 1177—1181.
- [3] Горюнова Н. А. Сложные алмазоподобные полупроводники. М., 1968. 268 с.
- [4] Медведева З. С. Халькогениды элементов IIIБ подгруппы периодической системы. М., 1968. 212 с.
- [5] Griskom D. L. // J. Non-Cryst. Sol. 1980. N 40. P. 211—272.

Ленинградский
политехнический институт
им. М. И. Калинина

Получено 5.12.1988
Принято к печати 9.03.1989

ФТП, том 23, вып. 7, 1989

О СОСТОЯНИИ ПРИМЕСИ ЕВРОПИЯ В ДЕФЕКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ $A_2^{III}B_3^{VI}$ ПО ДАННЫМ ЭПР И ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА

Аскеров И. М., Кобелев В. Ф., Мастеров В. Ф.,
Тагиев О. Б., Штельмах К. Ф., Лихолит Л. Ф.

Электронная структура примесных атомов редкоземельных элементов (РЗЭ) в полупроводниках со структурой алмаза и цинковой обманки изучается свыше 10 лет. Известно, что в основном в этих соединениях РЗЭ является примесью замещения [1]. Представляет интерес изучение состояния центров, образуемых РЗЭ, в соединениях типа $A_2^{III}B_3^{VI}$, имеющих дефектную кристаллическую структуру. Высокая концентрация собственных дефектов (вакансий) в этих соединениях [2] позволяет предположить иное по сравнению с исследованными ранее полупроводниками поведение примеси РЗЭ.

В настоящей работе методами ЭПР и ЯГР исследовались состояния атомов европия и иттербия в соединениях Ga_2S_3 и Ga_2Se_3 . Примеси выбирались из тех соединений, что в определенных зарядовых состояниях они легко могут быть зарегистрированы методом ЭПР (Eu^{2+} , Yb^{3+}). Кроме того, о состоянии европия можно получить дополнительную информацию из измерений эффекта Мессбауэра.

Исследовались поликристаллические образцы указанных соединений. Синтез образцов проводился по стандартной методике [3, 4]. При этом металлический европий (образцы типа $Ga_2Se_3 \langle Eu \rangle$) предварительно растворялся в жидком гал-