

- [1] F o w l e r R.H., N o r d h e i m L. - Proc. Roy. Soc., 1928, v. A 119, p. 173.
- [2] S i m m o n s J.G. - J. Appl. Phys., 1963, v. 34, p. 1793.
- [3] Ненакаливаемые катоды / Под ред. Елинсона М.И., 1974, с. 165.
- [4] L a m b e J., M c G a r t h y S.L. - Phys. Rev. Lett., 1976, v. 37, p. 923.
- [5] M c I l r o y P.W., P e r p e r M. - J. Phys. C: Solid State Phys., 1985, v. 18, L 87.
- [6] H i c k m o t t T.W., et al. - Phys. Rev. Lett., 1984, v. 52, p. 2053.
- [7] G r u i m a r a e s P.S.S., et al. - J. Phys. C: Solid State Phys., 1985, v. 18, L 605.
- [8] G r a u t h i e r S., et al., - Surf. Sci., 1985, v. 155, p. 31.
- [9] B i n n i g G., et al. - Appl. Phys. Lett., 1982, v. 40, p. 178.
- [10] Б л ю м и н а М.Г. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 44, № 5, с. 257.
- [11] B u t t i k e r M., L a n d a u e r R. - Phys. Rev. Lett., 1982, v. 49, p. 1739.
- [12] С о к о л о в с к и й Д.Г., С у м е ц к и й М.Ю. - ТМФ, 1985, т. 64, с. 233.
- [13] S t o n e A.D., et al. - Phys. Rev., 1985, v. B 31, p. 1707.
- [14] R o y D.K., C h o s h A. - Indian J. Pure and Appl. Phys., 1986, v. 24, p. 339.

Ярославский государственный
университет

Поступило в Редакцию
15 июля 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ
ЛЮМИНЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОВ *GaP*
МЕТОДОМ ОДМР

П.Г. Б а р а н о в, А.Р. О м е л ь ч у к,
Н.Г. Р о м а н о в

Оптически детектируемый магнитный резонанс (ОДМР) эффективно используется для исследования спин-зависимой рекомбинации в полупроводниках [1, 2]. В последние годы повышенный интерес проявляется к изучению рекомбинационных процессов, приводящих к люминесценции кристаллов фосфида галлия в инфракрасной области [3-6]. В настоящей работе сообщается о наблюдении новых спектров

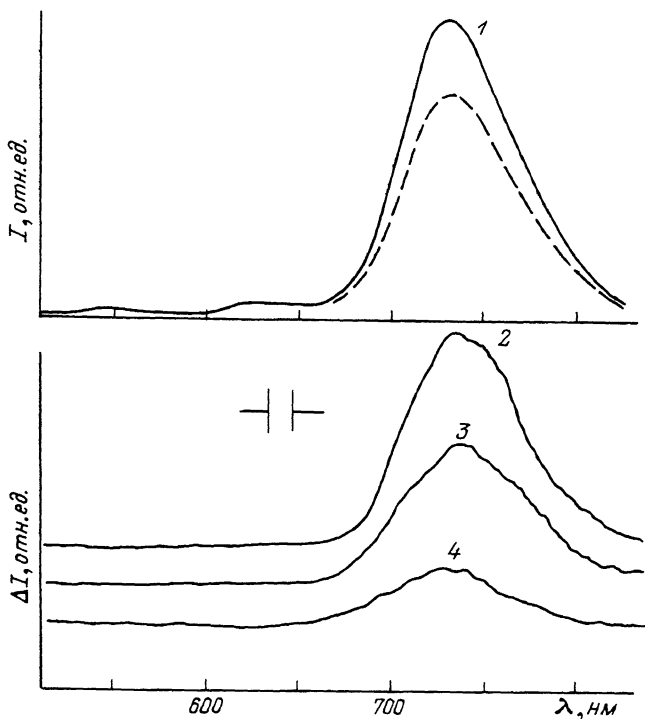


Рис. 1. 1 - спектры люминесценции кристалла $GaP:FeS$ в нулевом магнитном поле (сплошная линия) и при $B=3$ Тл (пунктир); 2-4 - спектральные зависимости сигнала изменения интенсивности люминесценции под действием СВЧ поля 35.25 ГГц, полученные при $B=1.26$ Тл (2), 1.23 Тл (3) и 1.0 Тл (4). $T=1.6$ К, $\lambda_{возб.}=488$ нм, $f_{mod.}=220$ Гц, $[100] \parallel \vec{B}$.

ОДМР в кристаллах $GaP:FeS$ и $GaP:Fe$ по люминесценции в области 0.6-1 мкм.

Исследовались монокристаллы фосфида галлия, выращенные из расплава по методу Чохральского. Для исследования люминесценции и ОДМР использовалась установка 8-мм диапазона. Люминесценция возбуждалась линиями излучения аргонового лазера и регистрировалась при помощи монохроматора МДР-2 и охлаждаемого ФЭУ-83. Приведенные в работе спектры люминесценции не исправлены на спектральную чувствительность системы регистрации. Сигналы ОДМР записывались по изменению интенсивности люминесценции с использованием модуляции СВЧ-поля и синхронного детектирования.

На рис. 1 приведен спектр люминесценции кристалла $GaP:FeS$, зарегистрированный при температуре 1.6 К при возбуждении светом 488 нм. Сплошной линией показан спектр люминесценции в нулевом

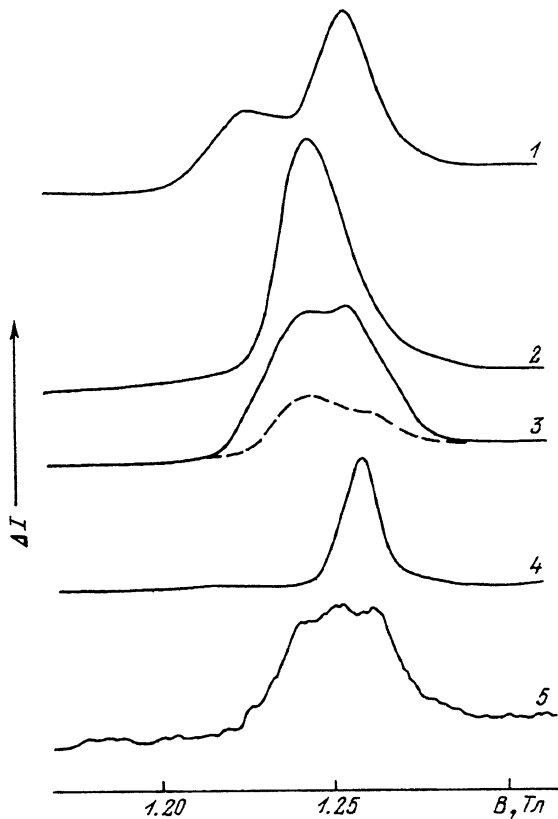


Рис. 2. 1-3 - спектры ОДМР, зарегистрированные по интенсивности люминесценции 735 нм в кристалле $GaP:FeS$ при ориентациях кристалла относительно магнитного поля $[100]$ (1), $[111]$ (2), $[110]$ (3). Пунктиром показан спектр ОДМР, полученный при уровне СВЧ мощности - 15 дБ; 4 - сигнал ОДМР доноров, зарегистрированный по интенсивности люминесценции 550 нм в $GaP:Zn$; 5 - сигнал ОДМР, полученный по интенсивности люминесценции 790 нм в $GaP:Fe$. $T=1.6$ К, $\nu = 35.25$ ГГц, $f_{mod} = 220$ Гц, $P_{СВЧ} = 100$ мВт.

магнитном поле, пунктиром - при $B=3$ Тл. Наблюдается значительное магнитное тушение полосы люминесценции с максимумом 735 нм.

При регистрации ОДМР по интенсивности этой полосы был обнаружен анизотропный спектр, показанный на рис. 2 для основных ориентаций кристалла относительно магнитного поля: $[100]$ (кривая 1), $[111]$ (кривая 2) и $[110]$ (кривая 3). Спектр для ориентации $[110]$, зарегистрированный при уменьшенной на 15 дБ СВЧ мощности, показан пунктирной линией.

Угловая зависимость полученного спектра ОДМР может быть описана спин-гамильтонианом

$$\mathcal{H} = g_{\parallel} \beta B_z S_z + g_{\perp} \beta [B_x S_x + B_y S_y],$$

где $S = 1/2$, $g_{\parallel} = 2.055$, $g_{\perp} = 2.00$. Ось z совпадает с осями $\langle 001 \rangle$ кристалла.

Для центров, ориентированных вдоль кристаллических осей $\langle 001 \rangle$, при ориентации кристалла $[111] \parallel \vec{B}$ все центры магнитоэквивалентны, их линии ЭПР совпадают. Наблюдаемая асимметрия сигнала ОДМР (рис. 2 кривая 2) связана, по-видимому, с наложением линии ОДМР мелких доноров. С таким предположением согласуется также наблюдаемое при уменьшении СВЧ-мощности изменение формы сигнала ОДМР при ориентации $[110] \parallel \vec{B}$ (рис. 2, кривая 3). Для сравнения на рис. 2 приведен сигнал ОДМР доноров, зарегистрированный по интенсивности люминесценции 550 нм в кристалле $GaP:Zn$. Малое время релаксации доноров в $GaP:FeS$ по сравнению с $GaP:Zn$ может быть связано с наличием в кристалле магнитной примеси. В работе [6] было показано, что примесь железа в GaP является тушителем люминесценции, и был получен спектр ОДМР Fe^0 . В настоящей работе такие эффекты не наблюдались.

Спектральные зависимости сигнала изменения интенсивности люминесценции ΔI , связанного с действием СВЧ-поля, приведены на рис. 1 (кривые 2-4). Кривыми 2 и 3 показаны зависимости $\Delta I(\lambda)$, полученные в магнитных полях 1.26 и 1.23 Тл, соответствующих двум линиям ОДМР для ориентации кристалла $[100] \parallel \vec{B}$ (рис. 2, кривая 1). Кривая 4 на рис. 1 соответствует спектральной зависимости нерезонансного фонового сигнала, связанного с разогревом носителей за счет циклотронного резонанса [7, 8]. Как видно из рис. 1, спектральные зависимости ОДМР и фонового сигнала совпадают с полосой люминесценции 735 нм.

В кристаллах $GaP:Fe$ наблюдалась интенсивная полоса люминесценции с максимумом 790 нм. Спектр ОДМР, зарегистрированный по этой люминесценции, приведен на рис. 2 (кривая 5). Этот спектр не обнаруживает заметной угловой зависимости.

Магнитное тушение полосы люминесценции 735 нм в $GaP:FeS$ и наблюдение сигналов ОДМР, соответствующих увеличению интенсивности люминесценции в момент резонанса, позволяют сделать вывод о том, что эта полоса обусловлена донорно-акцепторной комбинацией, а анизотропный сигнал ОДМР принадлежит акцепторам. Вероятно, донорно-акцепторную природу имеет и полоса люминесценции 790 нм в $GaP:Fe$.

Для установления моделей центров, спектры ОДМР которых были получены в настоящей работе, необходимы дальнейшие исследования. Из симметрии спектра ОДМР в $GaP:FeS$ можно предположить, что этот спектр принадлежит комплексу, в состав которого входит междоузельный дефект.

- [1] C a v e n e t t B.C. - Adv. Phys., 1981, v. 30, N 4, p. 475-538.
- [2] Б а р а н о в П.Г., Р о м а н о в Н.Г. - Изв. АН СССР, Сер. физ. 1986, т. 50, № 2, с. 224-227.
- [3] D a w e i Y a n, C a v e n e t t B.C. - J. Phys. C: Solid State Phys., 1984, v. 17, N 18, p. 6367-6384.
- [4] G i s l a s o n H.P., W a t k i n s G.D. - Mat. Res. Symp. Proc., 1985, v. 46, p. 425-430.
- [5] M e y e r B.K., H a n g l e i t e r Th., S p a e t h J. - M., S t r a u c h G., Z e l l Th., W i n n a c k e r A., B a r t r a m R.H. - J. Phys. C: Solid State Phys., 1985, v. 18, N 7, p. 1503-1512.
- [6] L e e K.M., K i m m e r l i n g L.C., S t u r g e M.D. - Mat. Res. Symp. Proc., 1985, v. 46, p. 319-324.
- [7] Б а р а н о в П.Г., В е ш у н о в Ю.П., Ж и т н и к о в Р.А., Р о м а н о в Н.Г., Ш р е т е р Ю.Г. - Письма в ЖЭТФ, 1977, т. 26, № 5, с. 369-372.
- [8] B o o t h I.J., S c h w e r d t f e g e r C.F. - Solid State Commun., 1985, v. 55, N 9, p. 817-822.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
30 июля 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ДАВЛЕНИЯ НА ДВИЖУЩЕЙСЯ ГРАНИЦЕ ПЛАЗМЕННОГО ПОРШНЯ

В.С. К р у т и к о в

Для изучения плазмы канала электрического разряда и лазерного импульса в жидкости необходимо знание функции давления $P(R(t), t)$ на изменяющейся во времени границе $R(t)$ плазменного поршня. Определить $P(R(t), t)$ можно численными методами по измеренному с помощью скоростной киносъемки изменению радиуса $R(t)$ плазменного поршня. Однако указанный метод неприемлем при наличии большой скорости испарения среды с внутренней поверхности поршня или когда такую съемку невозможно произвести. Предлагается следующий алгоритм решения обратной задачи - способ определения $P(R(t), t)$ по измеренной скорости частиц среды $v(r, t)$