

ФТТ

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

ТОМ
17

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛЕНИНГРАД 1975

МАГНИТНЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ КАПЕЛЬ В ГЕРМАНИИ С ПРИМЕСЬЮ МЫШЬЯКА

*А. Л. Карузский, К. Б. Бетцлер,¹ Б. Г. Журкин,
В. П. Аксенов*

В магнитном поле интенсивность люминесценции из электронно-дырочных капель (ЭДК) в Ge осциллирует в зависимости от величины приложенного поля [1, 2]. Нами было показано [3], что осцилляции интенсивности вызваны магнитными осцилляциями равновесной плотности носителей заряда в ЭДК в согласии с теоретическими предположениями Келдыша и Силина [4].

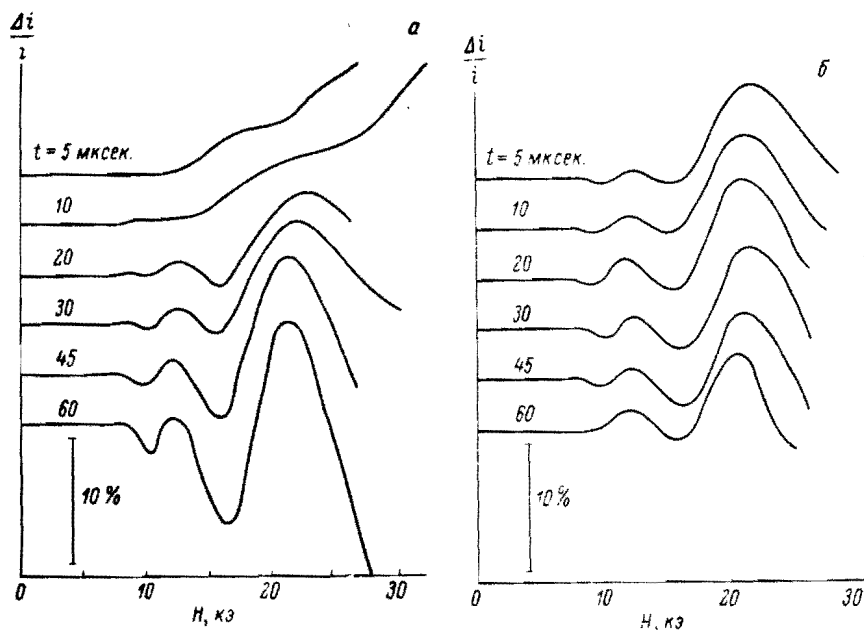
В настоящей работе впервые сообщается о наблюдении магнитных осцилляций и измерении времени жизни бесфоновой линии ЭДК при 736 мэв. Обнаружены существенные различия в кинетике линии 736 мэв в сравнении с линией LA 709 мэв.

Эксперименты проводились при $T=1.5^\circ\text{K}$ на образцах $n\text{-Ge}$ с концентрацией примесных атомов $\text{As } N_p \approx 7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Использовалась импульсная установка, описанная в [3]. На рисунке показаны экспериментально наблюдаемые магнитные осцилляции интенсивности люминесценции LA-линии при 709 мэв (рисунк, а) и бесфоновой линии при 736 мэв (рисунк, б) для различных времен задержки после окончания импульса возбуждения от GaAs-лазера. Видно, что относительная амплитуда осцилляций бесфоновой линии практически не зависит от времени задержки t , в то время как относительная амплитуда осцилляций

¹ Физический институт университета г. Штуттгарт, ФРГ.

LA—линии растут с временем t . Последний эффект ранее наблюдался для LA-линии и в чистом Ge [3]. Время жизни LA-линии в примесном p-Ge составляет около 36 мксек., что совпадает с величиной τ для чистого Ge [3].

Свойства бесфононной линии при стационарном возбуждении исследовались в ряде работ [5-7]. В частности, в [7] было обнаружено различие в форме LA-линии и линии 736 мэв, что было приписано возникновению в ЭДК «виртуальных связанных состояний», обусловленных примесными атомами As. Однако предположение о «виртуальных состояниях» не может объяснить различия временных зависимостей LA- и бесфононной линий, поскольку виртуальные состояния должны всегда находиться в резонансе с реальным состоянием ЭДК. С другой стороны, при более высоких температурах (4.2° K) в Ge [8] и в Si [9, 10] наблюдаются



Магнитные осцилляции линий люминесценции в германии, легированном мышьяком.

Параметром для кривых является время задержки t после окончания импульса возбуждения $n_D = 7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $T = 1.5^\circ \text{ K}$. а — линия с испусканием LA фонона (709 мэв), б — бесфононная линия (736 мэв).

узкие линии люминесценции, обусловленные комплексами связанных экситонов. Гладкая бесфононная линия, которая всегда видна в примесном Ge при более низких температурах, обусловлена, по-видимому, тем, что в эту линию дают вклад много различных связанных экситонных комплексов. Аргументом в пользу такой точки зрения являются данные по времени жизни; было установлено, что величина τ бесфононной линии меняется от 50 мксек. при малых задержках после импульса возбуждения примерно до 70 мксек. при больших задержках. Опыты со спектральным разрешением показали, что большие времена жизни соответствуют коротковолновому краю линии 736 мэв (наибольшее $\tau \approx 95$ мксек. было обнаружено для слабой линии связанного экситона при ≈ 739 мэв) и что величина τ уменьшается к длинноволновому краю. Как было обнаружено в [10] время жизни экситонных комплексов уменьшается с ростом номера комплекса, что соответствует меньшим энергиям связи. Осцилляции бесфононной линии свидетельствуют о том, что полное число связанных экситонных комплексов меняется при наложении магнитного поля. Такое изменение прямо связано с плотностью носителей заряда в ЭДК, так как увеличение плотности в ЭДК приводит к уменьшению числа связанных экситонных комплексов, и наоборот. Отсюда следует, что осцил-

лянии бесформенной линии связаны с магнитным полем только косвенно. Установленный экспериментально факт неизменности относительной амплитуды магнитных осцилляций линии 736 мэв с ростом времени задержки t (рисунок, б) также можно объяснить, учитывая происхождение этой линии из связанных экситонных комплексов. Действительно, как было показано в [3], магнитное поле вызывает осцилляции плотности в ЭДК, приводящие к осцилляциям времени жизни LA-линии, и как следствие этого, к временной зависимости относительной амплитуды интенсивности люминесценции. Поскольку магнитное поле слабо влияет на время жизни связанных экситонных комплексов, то отсюда сразу следует объяснение результатов, представленных на рисунке, б.

В заключение авторы выражают благодарность Л. В. Келдышу и А. П. Силину за плодотворное обсуждение экспериментальных результатов.

Л и т е р а т у р а

- [1] В. С. Багаев, Т. И. Галкина, Н. А. Пенни, В. Б. Стопачинский, М. Н. Чураева. Письма ЖЭТФ, *16*, 120, 1972.
- [2] В. Б. Гиновдман, П. С. Гладков, Б. Г. Журкин, Н. А. Казаков, Н. А. Пенни. Препринт ФИАН, № 90, 1974.
- [3] К. В. Бетцлер, Б. Г. Журкин, А. Л. Карузский. Sol. St. Comm. (in press)
- [4] Л. В. Келдыш, А. П. Силин. ФТТ, *15*, 1532, 1973.
- [5] А. С. Алексеев, В. С. Багаев, Т. И. Галкина, О. В. Гоголин, Н. А. Пенни. ФТТ, *12*, 3516, 1970.
- [6] Б. В. Новиков, Р. Л. Корчажина, Н. С. Соколов. ФТТ, *15*, 459, 1973.
- [7] C. Benoit ala Guillaume, M. Voos. Sol. St. Comm., *11*, 1585, 1972.
- [8] R. Sauer. Phys. Rev. Lett., *31*, 376, 1973; Proc. XIIth Int. Conf. Phys. Sem., Stuttgart, p. 42, 1974.
- [9] K. Kosai, M. Gershenzon. Phys. Rev., *B9*, 723, 1974.
- [10] R. W. Martin. Sol. St. Comm., *14*, 369, 1974.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
8 мая 1975 г.
В окончательной редакции
9 июня 1975 г.