

такие же, как на рис. 1. В отличие от первого случая здесь отсутствуют режимы, соответствующие взаимной синхронизации процессов АМ.

Отметим следующую особенность бифуркационных диаграмм: как в первом, так и во втором случае при достаточно большой связи в областях хаоса существуют узкие зоны регулярной АМ (области 4 на рис. 1 и 2). Особый интерес представляет второй случай, когда первый ИЛ, находящийся в состоянии хаотической АМ, стимулирует возникновение регулярного режима во втором ИЛ, который также находился в состоянии хаоса.

Наличие зон регулярной АМ в областях хаоса можно понять, если учесть, что внешнее воздействие на динамическую систему может осуществлять эквивалентный сдвиг по энергоемкому параметру. В тех случаях, когда в системе существуют области притяжения обычных аттракторов, внешнее воздействие (регулярное и даже нерегулярное), которое не нарушает грубой структуры фазового пространства, может «вытолкнуть» систему в область значений энергоемкого параметра, при котором фазовая траектория попадает в область обычного, нехаотического аттрактора. Для исследуемой системы связанных ИЛ действие каждого из лазеров на соседний грубо можно интерпретировать как внешнее воздействие. Исследуемая нами система связанных ИЛ имеет фазовое пространство с размерностью не менее 6, поэтому в нем возможно одновременное существование как странного, так и простых аттракторов и фазовая траектория системы может попадать в область притяжения как странного, так и простого аттрактора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров. М., 1983.
2. Самсон А. Н., Туровец С. И.//Препринт № 438 Ин-та физики АН БССР. Минск, 1986.
3. Григорьева Е. Н., Кашенко С. А.//ДАН СССР. 1991. 316, № 2. С. 327.
4. Грибков Д. А., Кузнецов Ю. И.//Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1988. 29, № 6. С. 16.
5. Логгинов А. С., Ржанов А. Г.//ДАН СССР. 1989. 309, № 6. С. 1351.
6. Wang S. S., Winful H. G.//Appl. Phys. Lett. 1988. 52, N 21. P. 1774.
7. Buus J.//IEEE. J. Quant. Electron. 1983. QE-19, N 6. P. 953.
8. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах. М., 1990.

Поступила в редакцию
20.05.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 2

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 537.312.8:539.293

ГИГАНТСКОЕ ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ШИРИНУ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ СОЕДИНЕНИЯ HgCr_2Se_4 В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ

И. К. Больных, А. В. Головин, Г. Н. Север

(кафедра общей физики)

Изучено влияние внешнего магнитного поля H (до 14 кЭ) на ширину запрещенной зоны E_g ферромагнитного полупроводника HgCr_2Se_4 ($T_c \approx 108$ К). Величина E_g определялась с помощью исследований спектральных зависимостей фотопроводимости. Наблюдалось гигантское уменьшение ширины запрещенной зоны при увеличении магнитного поля, достигающее 15% в области магнитного фазового перехода.

Ферромагнитный полупроводник HgCr_2Se_4 ($T_c \approx 108 \text{ K}$) привлекает внимание исследователей своими уникальными свойствами. В нем наиболее сильно проявляется взаимодействие между свободными носителями заряда и магнитной подсистемой, которое приводит к аномальным эффектам, не характерным для обычных полупроводниковых материалов. Это и гигантское отрицательное магнетосопротивление [1, 2], и максимальное красное смещение края оптического поглощения с понижением температуры [3, 4].

В настоящей работе сообщается о гигантском влиянии внешнего магнитного поля на ширину запрещенной зоны E_g соединения HgCr_2Se_4 в области температуры Кюри T_c . Для определения E_g проводились исследования спектральных зависимостей фотопроводимости (ФП).

В опытах использовались стехиометричные, высокоомные (при $T=T_c$ $\rho_{\text{max}} \sim 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), наиболее чистые (коэффициент поглощения света в окне прозрачности $\sim 2 \text{ см}^{-1}$ [5]) образцы HgCr_2Se_4 . Для них характерно наличие большого магнетосопротивления в области T_c (отношение сопротивления образца в отсутствие и при наличии магнитного поля $R_0/R_H \sim 4$ для $H \sim 6 \text{ кЭ}$) и сравнительно большой фоточувствительности.

Ранее [6] сообщалось о результатах исследований температурных и магнетопольевых зависимостей ФП в высокоомных образцах HgCr_2Se_4 . Наблюдались аномалии, связанные с магнитным упорядочением, в частности минимум ФП в области T_c и ее увеличение во внешнем магнитном поле $H \sim 6 \text{ кЭ}$ в 5—6 раз.

При исследованиях спектральных зависимостей ФП было установлено, что длинноволновая граница ФП так же, как и край оптического поглощения, испытывает большое красное смещение с понижением T , как это было обнаружено и в работе [7].

Исследования ФП во внешнем магнитном поле показали, что в области температуры Кюри наблюдается смещение длинноволновой границы и максимума ФП не только при изменении температуры T , но и во внешнем магнитном поле H . На рис. 1 приведены спектраль-

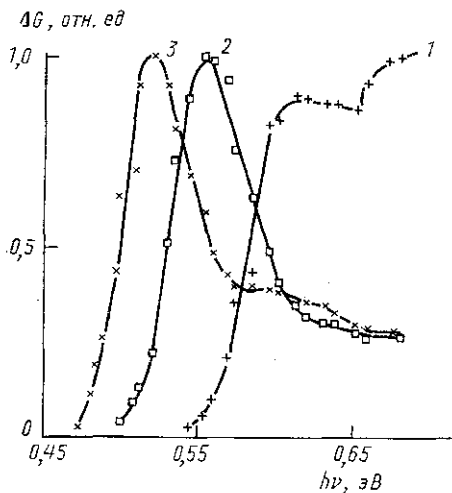


Рис. 1. Спектральные зависимости фотопроводимости ΔG в HgCr_2Se_4 при $T=114 \text{ K}$ для $H=0$ (1), 4 (2) и 13 кЭ (3)

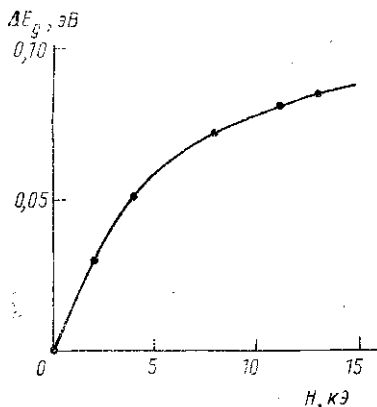


Рис. 2. Изменение ширины запрещенной зоны ΔE_g соединения HgCr_2Se_4 в зависимости от внешнего магнитного поля H при $T=114 \text{ K}$

ные зависимости ФП для $T \approx 114$ К, полученные в отсутствие поля H и для $H=4$ и 13 кЭ. Все кривые нормированы на величину ФП в максимуме. Видно гигантское смещение длинноволновой границы спектров при изменении H . На основании исследований спектральных зависимостей ФП была определена ширина запрещенной зоны E_g соединения HgCr_2Se_4 . За ширину запрещенной зоны принималась энергия, при которой ФП уменьшалась вдвое по отношению к своему максимальному значению [8]. Зависимость величины $\Delta E_g = E_{g0} - E_{gH}$ от магнитного поля H показана на рис. 2. В магнитном поле $H = 13$ кЭ красное смещение ΔE_g составляет $\sim 0,085$ эВ, т. е. $\sim 15\%$ от величины запрещенной зоны E_g . Для родственного соединения CdCr_2Se_4 ($T_c \approx 130$ К), которое имеет много общих свойств с соединением HgCr_2Se_4 , этот сдвиг составляет всего $\sim 0,007$ эВ для $H \approx 8,5$ кЭ и $T \sim T_c$ [9].

В обычных полупроводниковых материалах внешнее магнитное поле не приводит к подобному изменению ширины запрещенной зоны, так как оно не оказывает существенного влияния на энергию носителей тока. В случае магнитных полупроводников большую роль играет взаимодействие между спинами носителей и магнитными моментами магнитных ионов. Для энергии носителя со спином (+) или (—) можно записать следующее выражение [10]:

$$E = E_0 \mp (1/2) SJ(M/M_0).$$

Здесь M_0 и M — спонтанная намагниченность при температурах 0 К и T соответственно, S — спин магнитного иона, J — энергия обменного взаимодействия между спином носителя заряда и спинами магнитных ионов.

Наличие слагаемого, пропорционального намагниченности, приводит к спиновому расщеплению зон и уровней и может привести к их температурным смещениям. В области температуры Кюри внешнее магнитное поле влияет на намагниченность. Кроме того, как показано в работах [11, 12], энергия носителей определяется не только дальним, что учтено в [10], но и ближним магнитным порядком, роль которого становится особенно значительной при $T > T_c$, где дальний магнитный порядок уже разрушен. Поле H может поддерживать магнитный порядок в окрестности донора [12]. Согласно зонной модели соединения HgCr_2Se_4 [13, 14] изменение ширины запрещенной зоны E_g происходит благодаря смещению дна зоны проводимости.

При исследовании спектральных зависимостей ФП наблюдалось не только смещение длинноволнового края, но, как видно из рис. 1, и некоторое изменение формы самой кривой в магнитном поле. Предполагается, что это может быть связано либо с поверхностными свойствами ферромагнетика, либо с примесными состояниями, которые могут проявляться на краю ФП.

Таким образом, внешнее магнитное поле влияет не только на величину ФП [6], но и на ее спектральную зависимость, приводя к гигантскому красному смещению длинноволнового края ФП. Возможность изменения ширины запрещенной зоны с помощью магнитного поля может найти применение в новых приборах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Minematsu K., Miyatani K., Takahashi T. // J. Phys. Soc. Jap. 1971. 31, N 1. P. 123.
2. Королева Л. И., Михеев М. Г., Левшин В. А. и др. // ФТТ. 1989. 31, № 2. С. 138.

3. Arai T., Wakaki M., Onari S. et al.//J. Phys. Soc. Jap. 1973. 34, N 1. P. 68.
4. Кунькова З. Э., Голик Л. Л., Паксеев В. Е.//ФТТ. 1983. 25, № 6. С. 1877.
5. Лошкарева Н. Н., Сухоруков Ю. П., Гижевский Б. А. и др.//ФТТ. 1987. 29, № 7. С. 2231.
6. Адушнаева Р. Ю., Север Г. Н., Наумов С. В., Чеботаев Н. М.//ФТТ. 1991. 33, № 7. С. 1930.
7. Wakaki M., Yamamoto K., Onari S., Arai T.//Solid State Commun. 1982. 43, N 12, P. 957.
8. Рывкин С. М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М., 1963.
9. Белов К. П., Третьяков Ю. Д., Гордеев И. В. и др. Магнитные полупроводники — халькогенидные шпинели. М., 1981.
10. Haas C.//Phys. Rev. 1968. 168, N 2. P. 531.
11. Нагаев Э. Л.//ФТТ. 1987. 29, № 2. С. 385.
12. Нагаев Э. Л. Физика магнитных полупроводников. М., 1979.
13. Ауслендер М. И., Бебенин Н. Г.//ФТТ. 1988. 30, № 4. С. 945.
14. Голант К. М., Тугушев В. В., Юрин И. М.//ФТТ. 1990. 32. С. 2100.

Поступила в редакцию
06.05.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 2

АСТРОНОМИЯ

УДК 621.375.826:521.93

УСТРОЙСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА

В. А. Крайнов, В. Е. Жаров
(ГАИШ)

Описано устройство стабилизации длины резонатора лазерного гироскопа, создаваемого для изучения неравномерности вращения Земли.

Для определения вариаций угловой скорости вращения Земли Ω в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга создается гироскоп с пассивным резонатором [1]. Резонатор квадратной формы со стороной 3,1 м образован двумя плоскими и двумя сферическими зеркалами.

Для достижения точности определения скорости вращения $\sim 10^{-8}$ необходимо накапливать сигнал в течение суток. За это время параметры резонатора, и в первую очередь его длина, не должны изменяться.

Основными причинами, которые приводят к вариациям длины резонатора, являются температурное расширение фундамента, на котором устанавливаются оптические элементы, и микросейсмические колебания фундамента.

В нашем случае максимальные вариации температуры не должны превышать $0,005^\circ$. Термостатирование большого помещения с такой точностью является трудной задачей. Частично данную проблему решает использование устройства стабилизации длины резонатора. Поскольку изменение температуры фундамента приводит к плавному изменению длины, данное устройство должно отслеживать этот дрейф.

Микросейсмические колебания вызывают изменение длины резонатора на звуковых частотах. Исследования, результаты которых будут опубликованы в следующей работе, показали, что относительная