

02; 06; 09; 12

© 1991

СУБМИЛЛИМЕТРОВЫЙ ЭПР В $HgCdMnTe$ Б.Л. Гельмонт, Л. ван Бокстал,
В.И. Иванов - Омский, В.А. Смирнов,
Ф. Херлах

ЭПР ионов Mn^{++} в СВЧ диапазоне в полумагнитных полупроводниках наблюдался лишь в образцах с малым содержанием марганца, в которых взаимодействие между ионами Mn^{++} и носителями заряда практически отсутствовало.

Увеличение содержания ионов Mn^{++} и понижение температуры приводит к сильному уширению линий ЭПР из-за существенного уменьшения времени спиновой релаксации, которое связано с обменным взаимодействием электронов и дырок с $3d^5$ электронами оболочки ионов Mn^{++} .

В этой связи наблюдение ЭПР ионов Mn^{++} в образцах, в которых обменное взаимодействие становится существенным из-за большой концентрации ионов Mn^{++} , можно ожидать лишь на частотах электромагнитного излучения, сравнимых со временем спиновой релаксации.

В настоящей работе предпринята попытка наблюдения ЭПР ионов Mn в полумагнитном полупроводнике $HgCdMnTe$ с содержанием $Mn \sim 12\%$ в сильном импульсном магнитном поле с использованием субмиллиметрового лазера.

Объектом исследования были эпитаксиальные слои $Hg_{0.95}Cd_{0.03}Mn_{0.12}Te$, выращенные на подложках CdTe из жидкой фазы. Толщина слоев составляла ~ 30 мкм. Образцы р-типа имели при $T = 77$ К $N_a - N_d \sim 10^{15}$ см $^{-3}$.

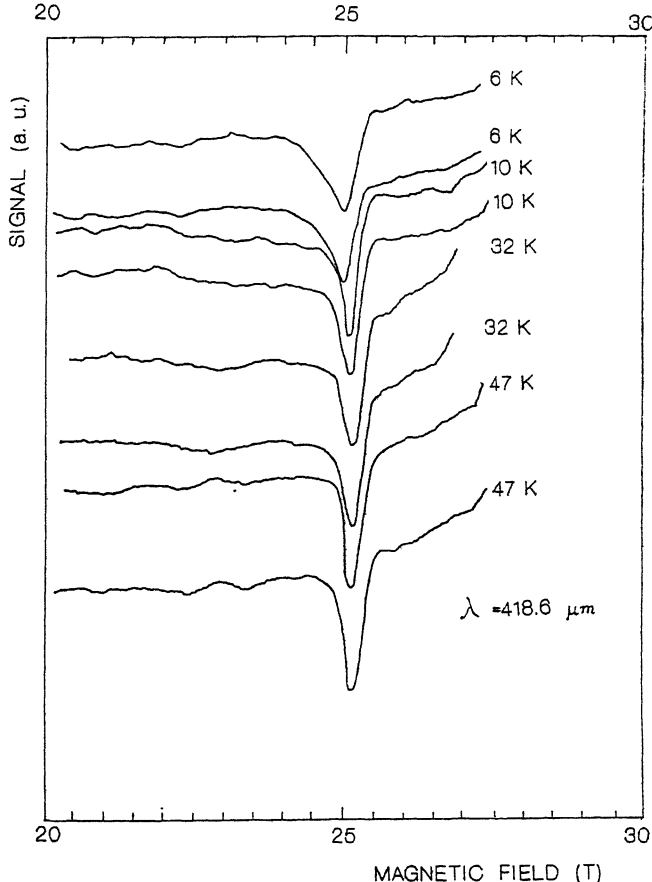
Измерялось магнитоотражение в так называемой „Stripline“ геометрии. Использовалось излучение ИК-лазера на парах HCOOH, который накачивался с помощью перестраиваемого CO $_2$ лазера.

В данном эксперименте использовалась линия излучения с $\lambda = 418.6$ мкм. Охлаждение образца осуществлялось продувкой парами H $_2$.

Магнитное поле создавалось с помощью проволочного импульсного соленоида, охлаждаемого жидким азотом. Длительность импульса составила ~ 10 нс.

Излучение лазера после отражения от образца регистрировалось фотоприемником $InSb$ на горячих носителях, охлажденным до 4.2 К.

На рисунке представлены экспериментальные спектры отражения для эпитаксиальной пленки $Hg_{0.95}Cd_{0.03}Mn_{0.12}Te$ при различных температурах. На всех зависимостях наблюдаются хорошо разрешаемые резонансные полосы.



Спектры магнитоотражения образца $Hg_{0.85}Cd_{0.03}Mn_{0.12}Te$ при разных температурах.

Можно убедиться в том, что наблюдаемые резонансы относятся к ЭПР ионов Mn^{++} , поскольку расчет величины g -фактора для магнитных полей, при которых наблюдаются резонансы, дает значение ~ 2 .

При низких температурах наблюдается уширение спектральной линии, обусловленное обменным взаимодействием, а также проявляется значительная асимметрия резонансной полосы, которая, по-видимому, связана с флуктуациями в распределении Mn^{++} .

Увеличение температуры разрушает парамагнетизм марганцевой подсистемы, обусловленной обменным взаимодействием [2], что приводит к легко наблюдаемому сужению линии и ее сдвигу в сторону больших магнитных полей.

При $T=47$ К резонансное поле соответствует величине g -фактора $g = 2.0267$, что практически совпадает с величиной g -фактора

гора изолированного иона Mn^{++} [2], если учесть недостаточную точность определения положения резонанса в экспериментах по отражению.

Следовательно, можно считать, что при этой температуре вклад внутреннего магнитного поля зануляется, о чем также свидетельствует сужение линии резонанса по сравнению с линией при низких температурах. По величине температурного сдвига

$$\Delta H = H_{R(47\text{ K})} - H_{R(6\text{ K})} \quad (1)$$

можно оценить величину внутреннего магнитного поля: $H_{\text{внутр}} = \Delta H = \sim 0.2\text{ Т}$.

Вторая оценка $H_{\text{внутр}}$ возникает из сравнения полуширин полос при $T=47\text{ К}$ и $T=6\text{ К}$, что дает значение $H_{\text{внутр}} \sim 0.25\text{ Т}$.

Видно, что обе оценки разумно совпадают. Таким образом, переход в субмиллиметровый диапазон с использованием сильных магнитных полей позволяет наблюдать магнитодипольные внутрицентровые переходы в ионном остове Mn^{++} , то есть впервые реализовать ЭПР в полумагнитном полупроводнике с высокой (до 12%) концентрацией магнитных ионов.

В заключение авторы выражают признательность К.Е. Миронову и В.Ф. Мовилэ за предоставление образцов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

[1] O s e r o f f S., K e e s o m P.H. In Semiconductors and Semimetals Volume Editors (Academic, Boston, MA 1988). V. 25. P. 73.
[2] F u r d y n a J.K. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. (4). P. 29.

Католический университет, Леовен, Бельгия

Поступило в Редакцию 13 ноября 1991 г.

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