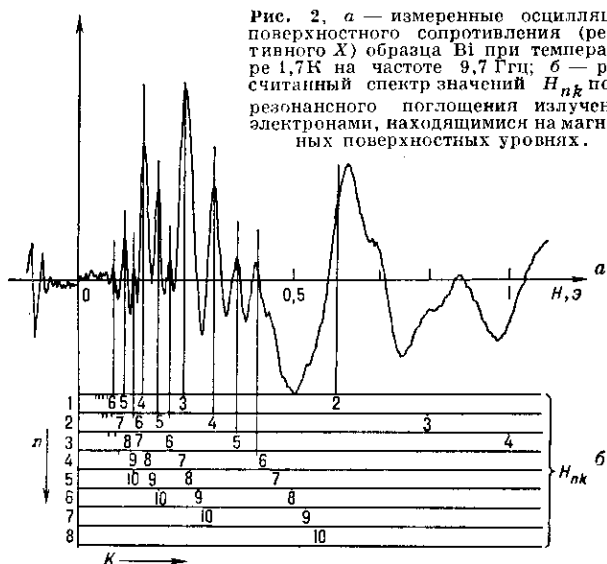


Ф-ла (2) верна для образцов с плоской поверхностью; если же образец имеет цилиндрич. поверхность, то спектр H_{nk} изменяется. Наблюдается смещение и уширение линий спектра [6]. К изменению ширины и амплитуды линий приводит также изменение состояния поверхности образца (полировка, травление и др.).

Рис. 2. а — измеренные осцилляции поверхностного сопротивления (реактивного X) образца В1 при температуре 1,7 К на частоте 9,7 ГГц; б — рассчитанный спектр значений H_{nk} поля резонансного поглощения излучения электронами, находящимися на магнитных поверхностных уровнях.



В образце сверхпроводника первого рода в магн. поле, меньшем критического, существует лишь один М. п. у. нормальных электронов. Положение и ширина единств. линии поглощения определяется характером проникновения магн. поля в поверхностный слой сверхпроводника [7].

Исследование М. п. у. даёт возможность измерять параметры поверхности Ферми, изучать распределение магн. поля в поверхностном слое проводника и характер взаимодействия электронов с его поверхностью.

Лит.: 1) Хайкин М. С., Осцилляторная зависимость поверхностного сопротивления металла от слабого магнитного поля, «ЖЭТФ», 1960, т. 39, с. 212; 2) его же, Магнитные поверхностные уровни, «УФН», 1968, т. 96, с. 409; 3) Электроны проводимости, под ред. М. И. Каганова, В. С. Эдельмана, М., 1985; 4) Абрикосов А. А., Основы теории металлов, М., 1987; 5) Nee T.-W., Prange R. E., Quantum spectroscopy of the low field oscillations of the surface impedance, «Phys. Lett.», 1967, v. 25, A, p. 582; 6) Døezema R. E., Koch J. F., Strom U., Bound electron states at curved surface, «Phys. Rev.», 1969, v. 182, p. 717; 7) Koch J. F., Pincus P. A., Microwave absorption by magnetic-field-induced surface states in superconductors, «Phys. Rev. Lett.», 1967, v. 19, p. 1044. М. С. Хайкин.

МАГНИТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ — вещества, к-рые сочетают в себе полупроводниковый тип электропроводности с магн. упорядочением. Среди М. п.

Характеристики магнитных полупроводников

Соединение	Тип магн. упорядочения	Кристаллич. структура	Постоянная решётки, А	T_C , К
CdCr ₂ S ₄	ФМ	шпинель	10,24	84,5
CdCrSe ₄	ФМ	»	10,75	130
HgCr ₂ Se ₄	ФМ	»	10,75	106
CuCr ₂ Se ₃ Br ₂	ФМ	»	10,4	274
ZnCr ₂ Se ₄	ГАФ	»	—	20
HgCr ₂ S ₄	ГАФ	»	—	60
ZnCr ₂ S ₄	СФ	»	—	17
EuO	ФМ	NaCl	5,141	68
EuS	ФМ	»	5,468	16
EuSe	АФМ	»	6,135	4,6
EuTe	АФМ	»	6,598	9,6

Примечание. ФМ — ферромагнетик; АФМ — антиферромагнетик; ГАФ — геликоидальный антиферромагнетик; СФ — слабый ферромагнетик.

имеются материалы с разл. типами магн. упорядочения — ферромагнитным, антиферромагнитным, геликоидальным и т. д. (см. Магнитная атомная структура). К этому классу веществ относятся также нек-рые спиновые стёкла.

Температура магнитных фазных переходов у М. п. лежит, как правило, в диапазоне гелиевых (4,2 К) и азотных (~77,4 К) темп-р, хотя известны материалы с точкой Кюри $T_C \sim 300$ К (напр., Cu₂Cr₂Se_{4-y}Br₂). Наиб. изученными являются М. п. типа EuX, где X — O, S, Se, Te, и соединения со структурой шпинели типа ACr₂X₄, где A — Cu, Cd, Zn, Hg, Fe, Co; X — S, Se, Te (см. табл.).

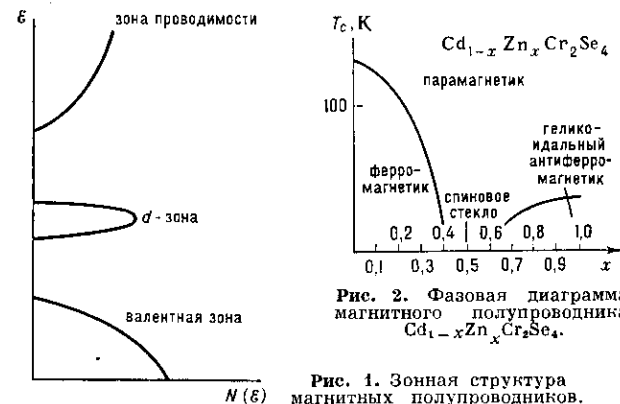


Рис. 1. Зонная структура магнитных полупроводников.

Электронный спектр М. п. определяется 2 разнородными подсистемами — подвижными носителями заряда (электронами проводимости и дырками) и более локализованными электронами атомов переходных (или редкоземельных) металлов, содержащих недоразрешенные d - или f -оболочки. Ввиду этого электронный спектр М. п. не может быть описан (даже в нулевой приближении) простейшей двухзонной моделью (см. Полупроводники) и включает в себя, как правило, третью, т. н. d - или f -зону (рис. 1).

М. п. характеризуется, как правило, наличием т. н. *непрямого обменного взаимодействия* между d - или f -ионами. В решётке М. п. магн. ионы (для определённости d -ионы) разделены немагнитными и поэтому волновые ф-ции d -электронов не перекрываются. Прямое обменное взаимодействие между ними отсутствует. Однако возникает *непрямое взаимодействие*, обусловленное тем, что волновые ф-ции магн. ионов перекрываются через волновые ф-ции немагн. ионов. Непрямой обмен приводит к заметному изменению магн. свойств М. п. при легировании. Так, при замещении в ферромагн. М. п. CdCr₂Se₄ атомов Cd на атомы Zn вначале происходит уменьшение T_C , а затем ферромагн. упорядочение меняется на геликоидальное антиферромагнитное, причём этот переход происходит через состояние спинового стекла (рис. 2). Легирование CdCr₂Se₄ примесью In (донор) или Ag (акцептор) уменьшает или увеличивает T_C .

Кроме обменного взаимодействия между парамагнитными ионами через неподвижные немагнитные ионы в М. п. может иметь место обменное взаимодействие через подвижные носители заряда. Взаимодействие между подвижными носителями заряда и малоподвижными d -электронами приводит к зависимости электрич. свойств от магн. состояния М. п. и, наоборот, магн. свойств от концентрации носителей заряда в М. п. Так, в М. п. наблюдаются резкие (на неск. порядков) скачки проводимости при изменении темп-ры T , резкое изменение T_C при изменении концентрации носителей в ходе легирования, резкие скачки *магнетосопротивления*, аномально большое отрицат. магнетосопротивление вблизи точки Кюри T_C .