

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$

В. Ф. Кабанов, А. М. Свердлова

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, 410601, Саратов, Россия

(Получена 25 января 1993 г. Принята к печати 18 марта 1993 г.)

Рассмотрены фотомагнитные эффекты в пленках магнитного полупроводника $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ на кремниевой подложке p -типа проводимости при освещении белым светом до 100 лк при $T = 77$ К. Обнаружено увеличение поперечного тока через пленку окисла редкоземельного элемента с ростом напряженности магнитного поля до 6.1 кГс. Полученная зависимость носит линейный характер. Изменение тока в магнитном поле от освещенности имеет максимум. Увеличение тока в магнитном поле с ростом освещенности L (при малых L) объясняется с точки зрения усиления обменного взаимодействия через фотоэлектроны проводимости, уменьшение тока связывается со снижением числа магнитных ионов в материале.

Известно, что некоторые окислы редкоземельных элементов (ОРЗЭ) являются магнитными полупроводниками (МП). Среди таких материалов значительный интерес представляют пленки твердого раствора $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ в связи с достаточно высоким удельным сопротивлением (10^8 — 10^{10} Ом·см) и относительно высокой температурой Кюри T_c , достигающей 140 К [1]. Однако фотоэлектрические и фотомагнитные свойства пленок ОРВЭ на кремниевой подложке изучены явно недостаточно. Попытка восполнить этот пробел сделана в настоящей работе.

Известно, что МП обладают хорошей магниточувствительностью в области фазового перехода (вблизи T_c) и в ферромагнитной области, а пленки ОРВЭ фоточувствительны в этой области температур. В связи с этим важным представляется исследование пленок ОРВЭ $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ при действии освещения и магнитного поля, т. е. исследование фотомагнитных свойств.

Образцы представляли собой МДП структуры $\text{Al—Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O—Si}$. На кремниевую подложку p -типа проводимости наносились пленки твердого раствора $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ методом термического испарения в вакууме соответствующей лигатуры с последующим окислением. Толщина пленок составляла 0.1 мкм. Удельное сопротивление пленок на 6—8 порядков превышало удельное сопротивление подложки, что позволяло использовать их в качестве диэлектрика в МДП структурах. Полевыми электродами служили алюминиевые контакты площадью 1 мм².

Исследуемые образцы при температуре жидкого азота ($T = 77$ К) помещались в постоянное магнитное поле величиной до 6.1 кГс и освещались белым светом со стороны диэлектрика. Поглощение света практически происходило в пленке ОРЗЭ, так как для $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ в диапазоне длин волн $\lambda = 0.5$ — 0.6 мкм коэффициент поглощения имеет величину порядка 10^5 см⁻¹ [2]. Использовалась освещенность до 100 лк, что соответствовало мощности излучения $1.5 \cdot 10^{-7}$ Вт, при которой разогрев исследуемого образца отсутствует. Поперечный ток через МДП структуру определяется главным образом сопротивлением объема диэлектрика и области пространственного заряда в полупроводнике. На МДП структуру подавалось прямое смещение величиной 1.5—2.0 В, которое создавало

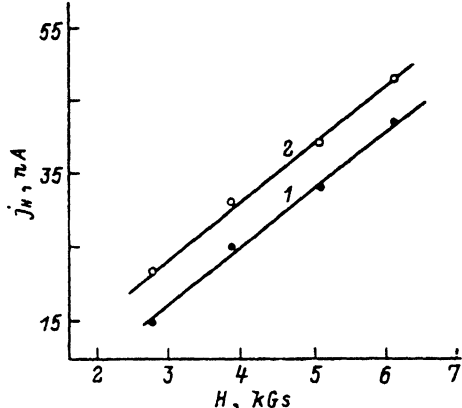


Рис. 1. Зависимость изменения тока в магнитном поле от напряженности поля при прямом смещении на МДП структуре с пленкой $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$. Напряжения смещения, В: 1 — 1, 2 — 2. $T = 77$ К.

режим обогащения основными носителями заряда на границе магнитный полупроводник—кремний. В этом случае доминирующим фактором в процессах токопереноса становится сопротивление объема диэлектрика, т. е. измеряемый ток отражает свойства пленки ОРЗЭ.

В работе получено увеличение плотности поперечного тока через МДП структуру в постоянном магнитном поле:

$$j_H = j(H) - j_0,$$

где $j(H)$ — плотность тока через МДП структуру в магнитном поле H , j_0 — плотность тока в отсутствие магнитного поля.

Увеличение тока может происходить за счет изменения концентрации свободных носителей заряда или их подвижности. Относительно малая величина эффекта ($j_H/j_0 \approx 0.1 \div 1\%$) позволяет считать, что изменение тока происходит за счет изменения подвижности. Последнее может быть объяснено эффектом отрицательного магнитосопротивления, характерного для ферромагнитных полупроводников: магнитное поле уменьшает флуктуации намагниченности, что приводит к уменьшению рассеяния на них свободных носителей, к росту подвижности и соответственно тока через МДП структуру.

Обнаружена линейная зависимость j_H от H в рассматриваемом диапазоне магнитных полей (рис. 1). Известно, что в ферромагнитной области намагниченность M материала в относительно слабых магнитных полях также линейна по H [3]: $M = \chi H$, где $\chi = Nm/3kT$ — магнитная восприимчивость, N — количество магнитных ионов, m — величина магнитного момента одного иона.

Приведенные выше рассуждения позволяют сделать вывод о том, что полученная в работе линейная зависимость j_H от магнитного поля отражает поведение намагниченности материала.

На рис. 2 приведена типичная зависимость j_H от освещенности L пленки $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ ($x = 0.1$). Видно, что зависимость имеет максимум в районе 10—20 лк. При этих же освещенностях наблюдается особенность на кривой фототока j_{ph} (рис. 2, б) — излом характеристики.

Из сравнения кривых видно, что в области освещенностей до 20 лк существенно увеличивается концентрация свободных носителей заряда. Известно, что в кристаллах МП электроны проводимости стремятся установить ферромагнитное упорядочение. Как показано в [4], эффективный обменный интеграл существенно зависит от концентрации электронов проводимости ($I_{eff} \sim n^2$), т. е. обменное

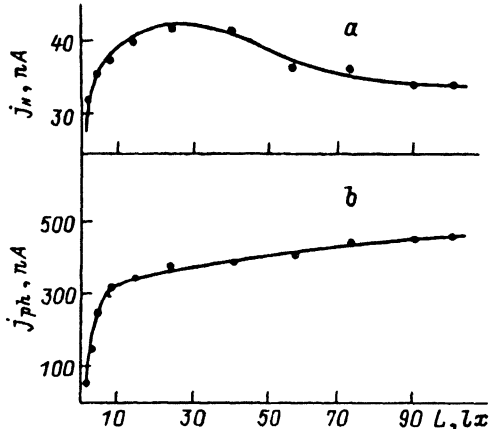


Рис. 2. Зависимости изменения тока в магнитном поле $H = 6.1$ кГс (а) и фототока (b) от освещенности для пленки $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ ($x = 0.10$). $T = 77$ К.

взаимодействие сильно возрастает с увеличением n . Усиление обмена приводит к увеличению намагниченности материала и, как следствие, к росту подвижности. В ферромагнитной области для невырожденного МП имеем [4]: $\mu \sim (I_{\text{eff}} \cdot S)^2$. Увеличение подвижности с ростом концентрации фотоэлектронов при малых L приводит к росту j_H (рис. 2, 3). Таким образом, можно предположить, что в данных условиях имеет место так называемый «процесс фотонамагничивания».

При освещенности более 20 лк наблюдается резкое замедление (в 50—75 раз) роста фототока (рис. 2, b) и спад j_H с освещенностью (рис. 2, a). Это может быть связано с тем, что при освещении МП возможно протекание двух процессов: увеличение концентрации свободных носителей заряда в зоне проводимости ОРЗЭ (фототок) и уменьшение количества магнитных ионов Eu^{2+} (за счет переходов $4f^7 \rightarrow 5d^1$). Для фототока имеет место известный эффект насыщения j_{ph} с ростом освещенности. Ход зависимости j_H от L в этой области свидетельствует о том, что уменьшение количества магнитных ионов Eu^{2+} снижает намагниченность

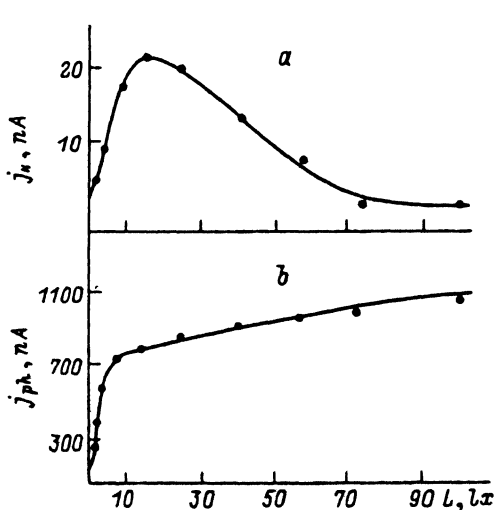


Рис. 3. Зависимости изменения тока в магнитном поле $H = 6.1$ кГс (а) и фототока (b) от освещенности для пленки $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ ($x = 0.19$). $T = 77$ К.

пленок сильнее, чем происходит отмеченный выше рост ее за счет ферромагнитного упорядочения. Этот эффект можно рассматривать как процесс фоторазмагничивания.

При больших освещенностях ($L \geq 80$ лк) происходит насыщение зависимости $j_H(L)$, связанное, по-видимому, с установлением динамического равновесия между фотонамагничиванием и фоторазмагничиванием.

Типичная зависимость $j_H(L)$ при увеличении процентного содержания Sm в пленке твердого раствора до 19% приведена на рис. 3. Видно, что максимум характеристики сдвигается в область больших значений освещенности, становится более размытым.

Известно, что ионы редкоземельных элементов в соединениях сохраняют магнитные моменты [5]. Так, магнитные ионы Eu^{2+} имеют полный магнитный момент $J = 7/2$, ионы Sm^{3+} — $J = 5/2$, а ионы Sm^{2+} и Eu^{3+} обладают полным моментом $J = 0$, т. е. являются немагнитными. В процессе взаимодействия света с пленкой твердого раствора $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ происходит не только отрыв валентных электронов у Eu^{2+} и превращение его в Eu^{3+} , но и процесс ионизации $\text{Sm}^{2+} \rightarrow \text{Sm}^{3+}$, т. е. наряду с уменьшением количества магнитных ионов Eu происходит одновременное увеличение количества магнитных ионов Sm. Последний процесс значительно слабее влияет на рассмотренные эффекты в связи с малой концентрацией ионов Sm в твердом растворе (~10%). При увеличении концентрации Sm в твердом растворе до 19% вклад его становится заметным (ср. рис. 2 и 3) и для получения эффекта фоторазмагничивания требуются большие значения освещенности.

Таким образом, в работе рассмотрены фотомагнитные эффекты в пленках магнитного полупроводника $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ на кремниевой подложке *p*-типа проводимости при освещении белым светом до 100 лк при $T = 77$ К. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: увеличение тока в магнитном поле с ростом освещенности (при малых L) происходит благодаря усилению обменного взаимодействия через фотоэлектроны проводимости, уменьшение тока — в связи со снижением числа магнитных ионов в материале. Показано, что на последний процесс может существенно влиять процентное содержание ионов Sm в твердом растворе $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В. Г. Бамбуров, А. С. Борухович, А. А. Самохвалов. Введение в физико-химию ферромагнитных полупроводников. М. (1988).
- [2] В. Ф. Кабанов. ФТП, 26, 157 (1992).
- [3] С. Тикадзуми. Физика ферромагнетика. Магнитные свойства вещества. М. (1983)
- [4] Э. Л. Нагаев. Физика магнитных полупроводников. М. (1979).
- [5] Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. М. (1985).

Редактор Л. В. Шаронова