

05;06;11;12

©1995

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА И ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ В ПЛЕНКАХ МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$

В.Ф.Кабанов, А.М.Свердлова, А.А.Лопаткин

В настоящей работе получена зависимость между подвижностью свободных носителей заряда в ближней парамагнитной области и величиной температуры Кюри в пленках магнитного полупроводника (МП) $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ на кремниевой подложке.

Известно, что в ближней парамагнитной области температур ($T > T_c$) суммарный магнитный момент атомов в окрестности дефекта (это может быть примесный атом, вакансия кислорода и т. п.) существенно больше момента одного магнитного атома или иона. Это означает, что вокруг дефектов образуются магнитные кластеры с магнитным моментом K , величина которого значительно превышает величину магнитного момента $\text{Eu}^{2+} m$ [1].

Исследуемые пленки, как показал рентгеноструктурный анализ, являются квазиаморфными и имеют высокую концентрацию дефектов: $N_{\text{def}} \sim 10^{18} - 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Это может существенно влиять на рассеяние свободных носителей заряда (электронов в случае рассматриваемого материала) вблизи температуры магнитного фазового перехода (T_c).

Как было показано в [2,3], для исследуемых пленок минимум на температурной зависимости фотопроводимости соответствует температуре Кюри, а функция $\sigma_{\text{ph}}(T)$ вблизи T_c отражает характер температурной зависимости дрейфовой подвижности носителей заряда.

С учетом того, что механизм рассеяния на магнитных кластерах (флуктуациях намагниченности) является доминирующим, нами было получено [3], что в ближней парамагнитной области температур (для изучаемых образцов это диапазон $\Delta T \sim 30$ градусов выше T_c) подвижность свободных носителей заряда может быть представлена следующим образом:

$$\mu = \frac{q}{m^*} \cdot \tau, \quad (1)$$

где

$$\tau \approx \frac{8}{\pi} \cdot \frac{N_{\text{Eu}}}{N(E) \cdot N_{\text{def}} \cdot (A \cdot K)^2} \quad (2)$$

$$K = \frac{J}{J+1} \cdot N_{\text{Eu}} \cdot |\mathbf{m}| \cdot \frac{T_c}{T - T_c}, \quad (3)$$

$$N(E) = 2\pi \cdot \left(\frac{2m^*}{h^2} \right)^{3/2} \cdot (kT)^{1/2}, \quad (4)$$

$$A \simeq \frac{kT_c}{4S(S+1)}, \quad (5)$$

τ — время релаксации импульса; K — величина магнитного момента кластера; \mathbf{m} — магнитный момент одного иона Eu^{2+} ; $N(E)$ — электронная плотность состояний; A — величина обменной энергии; N_{Eu} — концентрация ионов двухвалентного европия; S, J — величины спинового и полного момента магнитного атома, остальные обозначения общепринятые.

На рис. 1 представлены результаты расчета подвижности для различных значений температуры Кюри. При этом были взяты следующие параметры исследуемого материала: $N_{\text{def}} = 8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $N_{\text{Eu}} \simeq 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $S = J = 7/2$ [4]. Как следует из анализа кривых, подвижность свободных носителей заряда в ближней парамагнитной области возрастает с увеличением температуры благодаря уменьшению рассеяния на флуктуациях намагниченности. Кроме того, прослеживается связь между $\mu(T)$ и T_c : чем больше T_c , тем слабее рост подвижности с температурой. На рис. 1 эта зависимость отмечена пунктирной линией для произвольно выбранной точки в указанной области температур $T = T_c + 10$.

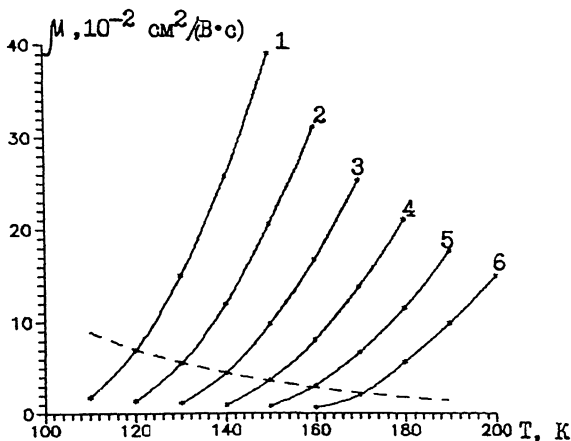


Рис. 1. Температурная зависимость подвижности носителей в пленках $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ при различных значениях T_c , К: 1 — 110, 2 — 120, 3 — 130, 4 — 140, 5 — 150, 6 — 160.

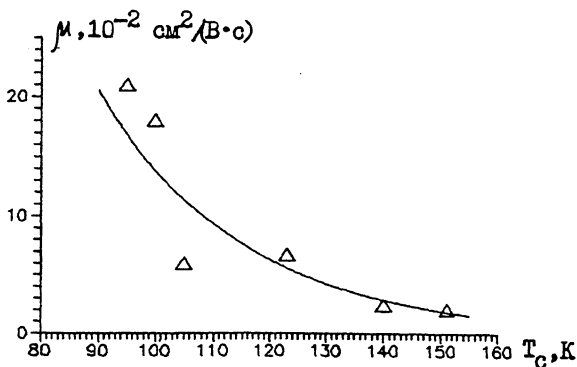


Рис. 2. Зависимость подвижности носителей заряда в пленках $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ от температуры Кюри T_c .

Для подтверждения сделанного вывода был проведен расчет подвижности по экспериментально определенным (на омическом участке ВАХ) значениям удельной электропроводности σ при $T = T_c + 10$. В этом случае

$$\mu = \frac{\sigma}{qN_c} \cdot \exp\left(\frac{E_{\text{act}}}{kT}\right), \quad (6)$$

где $N_c = 2.5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [4], $E_{\text{act}} \simeq 0.35 \text{ эВ}$ определялась по наклону зависимости $\ln\sigma - 1/T$ в парамагнитной области температур. Полученные результаты для различных партий образцов (T_c от 95 до 151 К) представлены на рис. 2. Рассчитанная таким образом зависимость подвижности свободных носителей от T_c обнаруживает тот же характер, что и в случае, представленном рис. 1 (пунктирная линия). Количественно кривые несколько различаются, что объяснимо, так как при расчете по (1)–(5) учитывался только один доминирующий механизм рассеяния свободных носителей на флуктуациях намагниченности.

Диапазон измеренных значений T_c в исследуемых образцах может быть обусловлен изменением энергии обменного взаимодействия и соответственно энергии межатомных связей, на которые существенное влияние оказывает различная концентрация дефектов. В свою очередь рассеяние свободных носителей заряда и соответственно их подвижность связаны с магнитными дефектами, обусловленными дефектами электрическими, технологическими и т. п. Таким образом, выявленная закономерность между подвижностью носителей в ближней парамагнитной области и температурой Кюри может быть объяснена тем, что более высокое значение T_c имеет место благодаря более сильным межатомным

связям, которым сопутствуют значительные флуктуации намагниченности, обусловленные дефектами, и, как следствие, снижение подвижности.

Для подтверждения данного вывода была предпринята попытка найти связь между температурой Кюри и концентрацией дефектов в различных образцах пленок МП. Концентрация дефектов рассчитывалась по методике, предложенной в [5]. Полученные результаты показывают, что существует однозначная связь между значением концентрации дефектов и величиной T_c : чем больше N_{def} , тем выше T_c .

Таким образом, в данной работе проведены исследования по установлению взаимосвязи подвижности свободных носителей заряда и температуры Кюри в пленках магнитного полупроводника $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$. Показано, что в ближней парамагнитной области имеет место уменьшение подвижности с ростом температуры Кюри. Данная закономерность была обнаружена благодаря рассмотрению особой роли дефектов в пленках магнитного полупроводника $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$.

Список литературы

- [1] *Нагаев Э.Л.* Физика магнитных полупроводников. М.: Наука, 1979. 432 с.
- [2] *Llinares C., Gonskov L., Duchemin C.* // J. of Phys. and Chem. of Sol. 1975. V. 36. N 6. P. 567-573.
- [3] *Кабанов В.Ф.* // ФТП. 1992. Т. 26. № 10. С. 1837-1841.
- [4] *Бамбуров В.Г., Борузович А.С., Самохвалов А.А.* Введение в физико-химию ферромагнитных полупроводников. М.: Металлургия, 1988. 206 с.
- [5] *Зюганов А.Н., Свечников С.В.* Инжекционно-контактные явления в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 1981. 256 с.

Саратовский
государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского

Поступило в Редакцию
19 октября 1995 г.