

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

Кабанов В. Ф., Свердлова А. М.

Рассмотрено влияние света оптического диапазона на проводимость пленок $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$, используемых в качестве диэлектрика в МДП структуре, выявлен характер зависимости отношения $I_{\text{св}}/I_{\text{т}}$ от температуры. Наличие максимума на соответствующих характеристиках обусловлено, по-видимому, фазовым переходом из ферромагнитного состояния в парамагнитное.

Возросший интерес к исследованию пленок магнитных полупроводников (МП) в настоящее время обусловлен возможностями их широкого практического применения: в качестве датчиков магнитного поля, устройств для обработки и преобразования оптической информации, в полупроводниковой электронике. Новым (мало изученным обстоятельством) является использование пленок EuO , $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ в качестве диэлектрика в МДП структурах [1-3]. Электрические свойства этих пленок, механизм проводимости, фотопроводимость при использовании их в МДП структурах изучены недостаточно. В связи с этим в работе были измерены и проанализированы вольт-амперные характеристики МДП структур с пленками $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ в качестве диэлектрика в диапазоне температур 77—300 К при воздействии «белого» света освещенностью 10^1 — 10^4 лк.

Исследуемые образцы МДП структур представляли собой подложки монокристаллического кремния *n*-типа с удельным сопротивлением $\rho \sim 5$ Ом·см и толщиной ~ 350 мкм, на которые 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 определялась интерферометрическим и эллипсометрическим методами и составляла 0.1 мкм. В качестве электродов использовались алюминиевые контакты площадью 1 мм².

Рентгеноструктурный анализ изучаемых пленок показал наличие в них не менее 75 % фазы монооксида европия Eu^{2+} . Оставшаяся часть приходится на фазу полуторного оксида европия Eu^{3+} , не являющегося магнитным материалом.

Проведены измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) МДП структур в темноте и при освещении для прямого смещения, так как в этом случае ток через структуру определяется сопротивлением диэлектрика, т. е. исследуемой нами пленки $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$. Освещение производилось со стороны диэлектрика, поглощение света практически происходило в пленке МП, так как для $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ в диапазоне $\lambda \sim 0.5$ — 0.6 мкм коэффициент поглощения $\sim 10^5$ см⁻¹, а толщина пленки, как указывалось выше, ~ 0.1 мкм. Определялись темновой ($I_{\text{т}}$) и световой ($I_{\text{св}}$) токи. Типичные зависимости $I_{\text{св}}/I_{\text{т}}$ от температуры представлены на рис. 1 (параметром является освещенность) и рис. 2 (параметр — приложенное к структуре напряжение).

Отличительной особенностью представленных зависимостей является наличие максимума в диапазоне температур 140—150 К. Различие в семействе кривых состоит в том, что с ростом освещенности величина $I_{\text{св}}/I_{\text{т}}$ и ее максимум возрастают (рис. 1), а при увеличении напряжения на структуре уменьшаются (рис. 2).

Графики ВАХ, построенные в нормализованных координатах Френкеля $\lg(I/V)$ от $10^3/T$ (рис. 3), имеют явно выраженный излом в той же области

температур от 140 до 150 К для разных образцов, т. е. изменяется механизм процесса проводимости или фазовое состояние вещества.

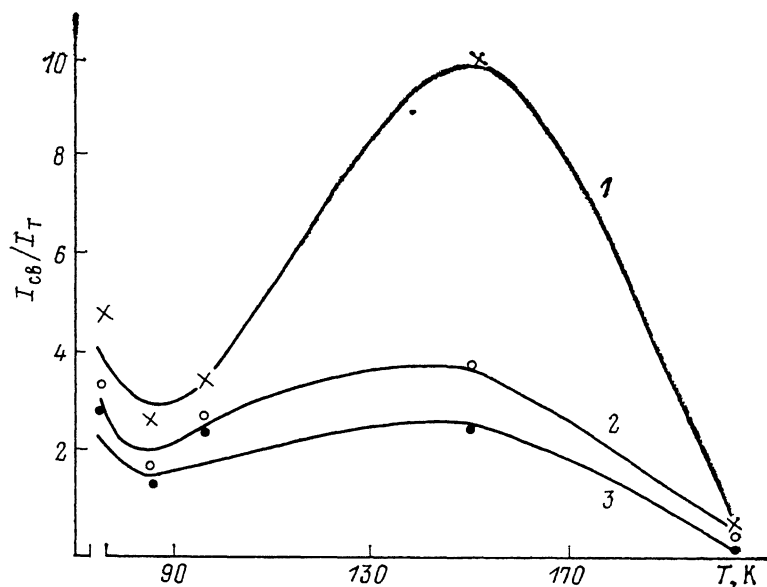


Рис. 1. Зависимость отношения $I_{св}/I_T$ от температуры для пленки $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ при напряжении $V=0.5$ В при различных значениях освещенности.

L , лк: 1 — 10^4 , 2 — 10^3 , 3 — 600.

Полученные экспериментальные результаты можно связать с имеющимися сведениями в литературе [4]. Известно, что фазовый переход в пленках МП сопровождается появлением пика в температурной зависимости удельного

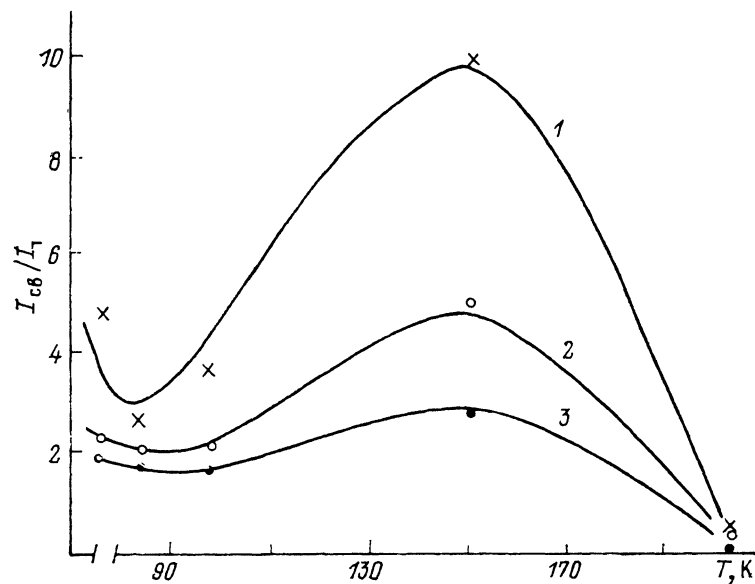


Рис. 2. Зависимость отношения $I_{св}/I_T$ от температуры для пленки $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ при освещенности 10^4 лк при различных значениях напряжения.

V , В: 1 — 0.5, 2 — 1, 3 — 2.

сопротивления. Это должно приводить к особенностям в функциональных зависимостях параметров пленок от внешних факторов, в частности от освещения. Высокое удельное сопротивление в указанном диапазоне температур

обуславливает и повышенную фоточувствительность в этой области. В работах [5, 6] резкое увеличение сигнала фотопроводимости вблизи температуры Кюри (T_K) в кристаллах EuO объясняется изменением магнитного упорядочения кристалла при фазовом переходе. При этом считалось, что определяющая роль в этом процессе принадлежит изменению подвижности. В нашем случае изменение подвижности также, по-видимому, будет давать существенный вклад в значительный рост фотопроводимости.

Изложенное позволяет связать наблюдаемый нами максимум с существованием фазового перехода из ферромагнитного состояния ($T < 140 \text{ K}$) в парамагнитное ($T > 150 \text{ K}$) пленки $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$. Можно считать, что температура Кюри

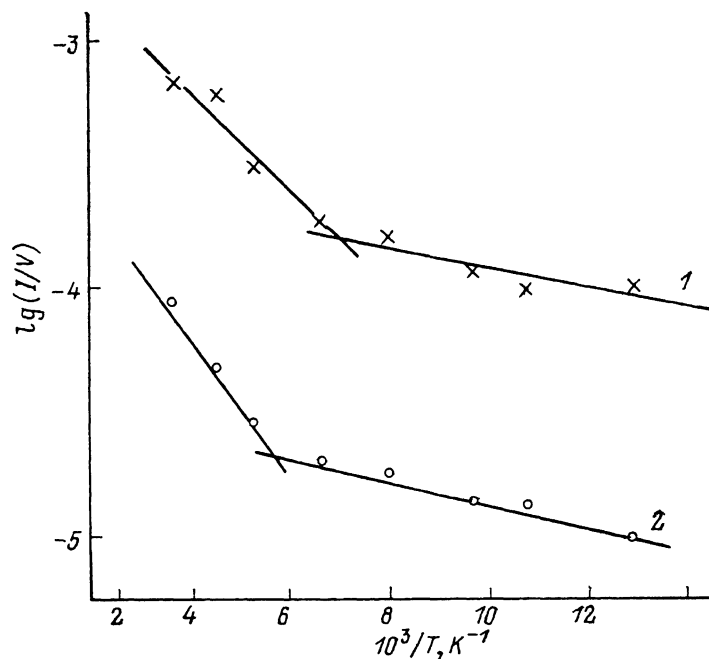


Рис. 3. Температурная зависимость тока через МДП структуру с пленкой $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$ в качестве диэлектрика при различных значениях напряжения.

$V, \text{В: } 1 - 2, 2 - 1.$

для исследуемых образцов лежит в этом диапазоне значений, что находится в соответствии с данными, приведенными в литературе: $T_K \sim 128-130 \text{ K}$ [3, 4].

При рассмотрении семейства кривых, представленных на рисунках, видно, что после максимума в области низких температур имеет место рост фоточувствительности. Если бы образцы содержали только фазу полупроводника европия Eu_2O_3 , то на графике фотопроводимости наблюдался бы постоянный спад отношения $I_{\text{св}}/I_T$ с ростом T в соответствии с плавным спадом удельного сопротивления полупроводника с ростом температуры. Так как в исследуемой структуре присутствует магнитная фаза монооксида европия EuO , то на общем фоне описанной зависимости фотопроводимости появляется максимум, обусловленный проявлением магнитных свойств монооксида европия вблизи температуры Кюри.

Получено, что увеличение приложенного к структуре напряжения снижает значение максимума и величину $I_{\text{св}}/I_T$. Это связано с тем, что с ростом внешнего электрического поля при реализации в пленках механизма проводимости Пула—Френкеля [3, 4, 7] происходит уменьшение энергетического барьера для носителей, проводимость возрастает по закону: $\sigma \sim \exp\left\{-\frac{q\varphi}{kT}\right\} \exp\left\{\frac{q\sqrt{qE}}{\pi\epsilon}\right\}$, где E — напряженность электрического поля, φ — энергетическая глубина уровня ловушки, остальные обозначения общеприняты. Естественно, с по-

вышением темновой проводимости вклад фотоносителя будет уменьшаться, и величина $I_{св}/I_{т}$ с ростом внешнего электрического поля падает.

Известно, что в МП свет может влиять на ферромагнитное упорядочение как непосредственно через увеличение обменного взаимодействия благодаря значительному росту концентрации свободных носителей, так и косвенным образом — через фотоэлектроны, захваченные на локальные уровни дефектов. В первом случае необходимо создать гигантскую концентрацию фотоэлектронов ($n > 10^{18}$ см⁻³), поэтому обычно реализуется второй механизм [8]. При возрастании приложенного к структуре напряжения и уменьшении энергетического барьера захваченные на ловушки фотоэлектроны выбрасываются в зону проводимости и дрейфуют к электроду. Обменное взаимодействие и соответственно ферромагнитное упорядочение в окрестности дефекта, а значит и по всей пленке, уменьшаются. Это приводит к спаду пика фотопроводимости с ростом напряжения на структуре.

Таким образом, рассмотрено влияние света оптического диапазона на проводимость пленок $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$, используемых в качестве диэлектрика в МДП структуре, выявлен характер зависимости отношения $I_{св}/I_{т}$ от температуры. Наличие максимума на соответствующих характеристиках обусловлено, по-видимому, фазовым переходом из ферромагнитного состояния в парамагнитное.

Список литературы

- [1] Свердлова А. М. и др. // Тез. докл. IV Всес. конф. по физ. и хим. редкозем. полупров. Новосибирск, 1987. С. 197.
- [2] Свердлова А. М., Буров В. Ю., Новичкова Н. П. // Изв. вузов АН СССР. Неорг. матер. 1988. Т. 24. С. 1741—1743.
- [3] Кабанов В. Ф. // Тез. докл. V Всес. конф. по физ. и хим. редкозем. полупров. Саратов, 1990. Ч. 1. С. 62.
- [4] Бамбуров В. Г., Борухович А. С., Самохвалов А. А. Введение в физико-химию ферромагнитных полупроводников. М., 1988. 206 с.
- [5] Kajlta K., Masumi T., Reed T. // J. Phys. Soc. Japan. 1977. V. 43. N 6. P. 1892—1905.
- [6] Llirares C. et al. // J. Phys. Chem. Sol. 1975. V. 36. N 6. P. 567—573.
- [7] Самохвалов А. А. // Тез. докл. I Всес. конф. по физ. и хим. редкозем. полупров. Л., 1976. С. 23.
- [8] Коваленко В. Ф., Нагаев Э. Л. // УФН. 1986. Т. 148. В. 4. С. 561—602.

Саратовский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского

Получена 23.01.1991
Принята к печати 18.04.1991