

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МДП СТРУКТУРЫ С ПЛЕНКОЙ МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА В КАЧЕСТВЕ ИЗОЛЯТОРА

© В.Ф.Кабанов, А.М.Свердлова, Д.А.Коротков

Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского,  
410601 Саратов, Россия  
(Получена 26 июля 1995 г. Принята к печати 9 ноября 1995 г.)

Рассмотрено поведение емкости структуры металл-диэлектрик-полупроводник с пленкой магнитного полупроводника  $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$  в качестве изолятора в зависимости от постоянного магнитного поля и освещения при  $T = 77$  К. Увеличение емкости при освещении и ее уменьшение в магнитном поле обсуждается с точки зрения соотношения процессов генерации свободных носителей заряда в пленке и в приповерхностной области полупроводника, а также их оттока через диэлектрик при определенных условиях.

Электрические свойства границы раздела полупроводник-диэлектрик в МДП структуре с магнитным материалом — оксидом редкоземельного элемента (ОРЗЭ) в качестве диэлектрика впервые исследованы в работах [1,2]. Наибольший интерес в этом направлении представляют пленки монооксида европия и его твердого раствора с самарием. Известно, что электрические свойства данных материалов чувствительны к воздействию магнитного поля, температуры, света. Для пленок рассматриваемых материалов переход ферромагнетик-парамагнетик имеет место при температуре Кюри ( $T_C$ ) в области (90–140) К, где проявляется их максимальная чувствительность к перечисленным выше факторам.

В работах [1–4] были исследованы вольт-амперные (ВАХ), вольт-фарадные (ВФХ), фотоэлектрические характеристики МДП структур, в которых чувствительность к внешнему воздействию определяется пленкой диэлектрика, а не областью пространственного заряда полупроводника, как это обычно имеет место.

Обнаружен минимум на температурной зависимости фотопроводимости [3], который имеет место при  $T \approx T_C$  для пленок исследуемых материалов. Проведен анализ температурной зависимости подвижности свободных носителей заряда  $\mu$  в ближней парамагнитной области температур на основании представлений о доминирующем механизме рассеяния на флуктуациях намагниченности (магнитных кластерах) в этих материалах. Указывается на уменьшение намагниченности

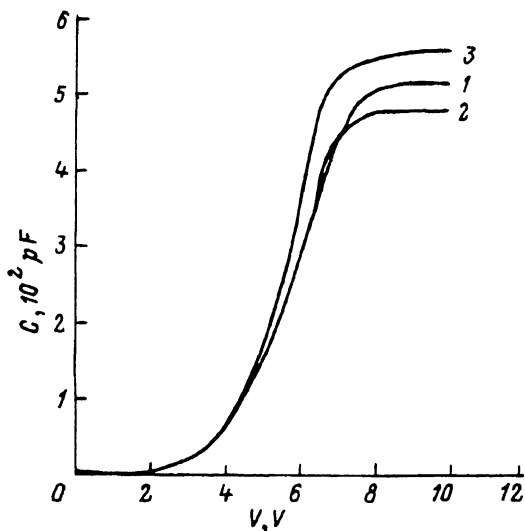


Рис. 1. Вольт-фардадная характеристика МДП структуры при  $T = 77$  К. 1 —  $H = 0$ ; 2 —  $H = 7.6$  кЭ,  $L = 0$ ; 3 —  $H = 0$ ,  $L = 10^3$  лк.

образцов  $\text{EuO}$  с ростом освещенности в ближней ферромагнитной области температур вследствие уменьшения под действием света концентрации магнитных ионов  $\text{Eu}^{2+}$ . В работах получен ряд важных электрофизических параметров пленок.

Авторами [1] изучались свойства границы раздела  $\text{Si-EuO}$  и показано, что ВФХ образцов чувствительны к внешнему магнитному полю; приведена температурная зависимость изменения емкости МДП структуры в магнитном поле.

В данной статье сообщаются результаты дальнейшего исследования электрических свойств МДП структур с ОРЗЭ в качестве диэлектрика.

Образцы создавались термическим испарением  $\text{Eu}_{0.81}\text{Sm}_{0.19}$  на кремниевую подложку  $n$ -типа с удельным сопротивлением  $\rho = 5$  Ом·см с последующим окислением в вакууме  $\sim 10^{-4}$  мм рт.ст. Измерения ВФХ проводились статическим методом при  $T = 77$  К в постоянном магнитном поле  $H$ , напряженностью до 7.6 кЭ. Направление магнитного поля было перпендикулярно нормали к плоскости образца. Исследуемые структуры освещались со стороны диэлектрика светом интенсивностью  $L$  до  $10^3$  лк, вызывающим генерацию носителей, в том числе с  $4f$ -мультиплета, расположенного в запрещенной зоне магнитного полупроводника.

При измерении ВФХ, представленной на рис. 1, обнаружено, что емкость исследуемых структур зависит как от магнитного поля, так и от освещения. Наибольший эффект наблюдался в области напряжений, соответствующих условию обогащения  $V = +10$  В. Это позволило связать полученные результаты по емкости МДП структуры с изменением электрофизических свойств пленки магнитного материала. В условиях эксперимента было получено уменьшение емкости МДП структуры в магнитном поле. На рис. 2 представлены графики зависимости абсолютной величины  $|\Delta C/C_0|$  от напряженности магнитного поля. Здесь  $C_0$  — начальная емкость,  $\Delta C$  — уменьшение емкости

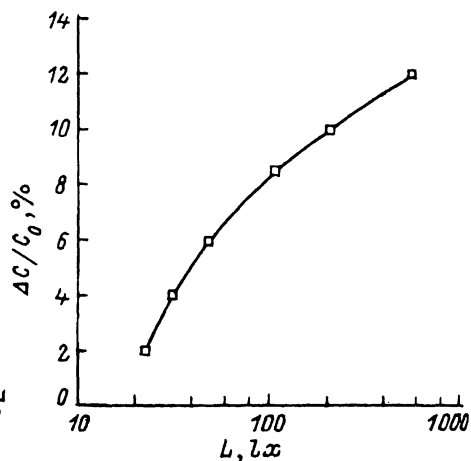
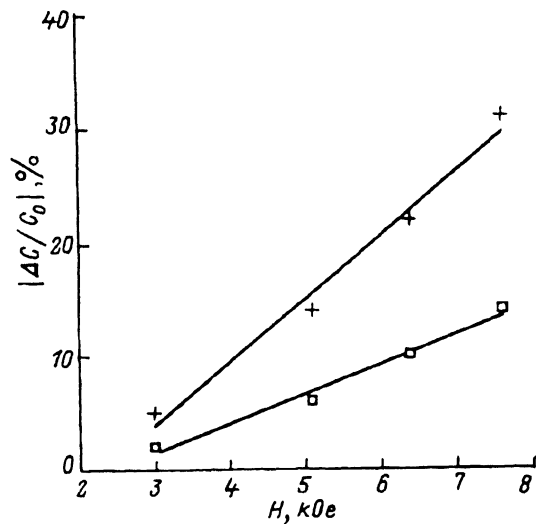


Рис. 2. Зависимость относительного изменения емкости МДП структуры от напряженности магнитного поля при  $T = 77$  К для двух образцов.

Рис. 3. Зависимость относительного изменения емкости МДП структуры от освещенности при  $T = 77$  К.

в магнитном поле при прямом смещении МДП структуры  $V = 10$  В. Величина относительного изменения емкости достигала 30% при напряженности магнитного поля 7.6 кЭ. Зависимости имели характер, близкий к линейному.

На рис. 3 представлены зависимости изменения величины  $\Delta C/C_0$  от освещенности при  $T = 77$  К,  $V = 10$  В,  $\Delta C$  — увеличение емкости структуры при освещении. Наблюдался рост относительного изменения емкости (12–14)% при  $L = 10^3$  лк. В полулогарифмическом масштабе зависимость носила сублинейный характер.

Обнаруженное противоположное действие освещения и магнитного поля на емкость МДП структуры с пленкой  $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$  в качестве диэлектрика согласуется с ранее полученными результатами исследования фотоэлектрических и фотоманитных характеристик данных пленок [3,4].

В данном случае обсуждение результатов основано на следующем качественном рассмотрении электрических свойств МДП структуры. Емкость в общем случае можно представить в виде

$$C = qN_s/V, \quad (1)$$

где  $N_s$  — поверхностная плотность свободных носителей заряда на границе полупроводник–диэлектрик,  $V$  — приложенное к МДП структуре напряжение.

Воспользуемся приведенным в работе [5] выражением для  $N_s$ :

$$N_s = Gt_d d_s + d_s(\sigma_0 - \sigma_s)/q\mu, \quad (2)$$

где  $G$  — скорость генерации свободных носителей заряда,  $t_d$  — время дрейфа носителей,  $\sigma_0$  и  $\sigma_s$  — начальные и текущие значения электропроводности структуры, которые зависят от внешнего воздействия,  $d_s$  — толщина полупроводника.

Выражение (2) справедливо при пренебрежении диффузией, рекомбинацией и объемным зарядом в приповерхностной области полупроводника. В нашем эксперименте данное условие выполняется, что дает право пользоваться этой формулой. Физический смысл этого условия в том, что изменение числа частиц в каждом элементе приповерхностной области полупроводника определяется скоростью их генерации и скоростью их оттока через границу раздела полупроводник-диэлектрик. Так как удельное сопротивление пленки ОРЗЭ, выполняющей роль диэлектрика, на 6–8 порядков больше сопротивления кремниевой подложки, следовательно, ток утечки через МДП структуру в области напряжений, соответствующих обогащению приповерхностной области полупроводника, определяется сопротивлением магнитной пленки оксида.

Для изменения емкости структуры можно записать следующее выражение, подставив (2) в (1):

$$\Delta C = \frac{qd_s}{V} (Gt_d - (\sigma_s - \sigma_0)/q\mu). \quad (3)$$

В выражении (3) член  $Gt_d$  отражает процессы генерации носителей заряда, а изменение проводимости  $\sigma$  обусловлено вторым членом уравнения.

В условиях термодинамического равновесия ( $T = \text{const} = 77 \text{ K}$ ) и отсутствия освещения ( $G = 0$ , первый член уравнения (3) равен нулю) уменьшение емкости структуры  $\Delta C < 0$  (рис. 2) может определяться увеличением проводимости пленок  $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$  в магнитном поле  $\sigma_s > \sigma_0$  (эффект отрицательного магнитосопротивления). При освещении структуры ( $G \neq 0$ ) без магнитного поля ( $H = 0$ ) скорость фотогенерации свободных носителей превосходит скорость их оттока через границу раздела полупроводник-диэлектрик, имеет место накопление носителей на границе; емкость структуры по уравнению (3) возрастает,  $\Delta C > 0$  (рис. 3).

Таким образом, в данной работе рассмотрено поведение емкости МДП структуры с пленкой магнитного полупроводника  $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$  в качестве изолятора в зависимости от постоянного магнитного поля и освещения при  $T = 77 \text{ K}$ . Увеличение емкости при освещении и уменьшение ее в магнитном поле объясняется с точки зрения соотношения процессов генерации свободных носителей заряда в пленке и в приповерхностной области полупроводника и их оттока через диэлектрик при выполнении определенных условий.

#### Список литературы

- [1] В.Ю. Буров, Л.А. Отавина, А.М. Свердлова. Поверхность, № 1, 155 (1990).
- [2] В.Ю. Буров, А.М. Свердлова, Л.Д. Финкельштейн, Н.Н. Ефремова. Поверхность, № 1, 124 (1992).
- [3] В.Ф. Кабанов. ФТП, 26, 1837 (1992).
- [4] В.Ф. Кабанов, А.М. Свердлова. ФТП, 27, 1340 (1993).
- [5] Ю.Д. Думаревский, Н.Ф. Ковтонюк, А.И. Савин. Преобразование изображений в структурах полупроводник-диэлектрик (М., Наука, 1987).

# Electrical properties of MIS-structure with a film of magnetic semiconductor serving as an insulator

*V.F.Kabanov, A.M.Sverdlova, D.A.Korotkov*

State University, 410601 Saratov, Russia

A study has been made of the behaviour of capacity of MIS-structure with a magnetic semiconductor insulating film  $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$  as a function of illumination and magnetic field at  $T = 77$  K. The results obtained are discussed in terms of a correlation between the processes of generation of charge carriers and their drift through the insulator.

---