

ИССЛЕДОВАНИЕ МДП СТРУКТУР МЕТОДАМИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ И ВОЛЬТ-ЕМКОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ш.М. АЛЕКПЕРОВА, Г.С. ГАДЖИЕВА, И.А. АХМЕДОВ, Х.Д. ДЖАЛИЛОВА

Институт Физики

Национальной Академии Наук Азербайджана

AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33

Энергетические спектры, обуславливающие эффект переключения и памяти в МДП структурах, исследованы методами термостимулированной деполяризации и вольт-емкостной характеристики. Количественные результаты хорошо согласуются с данными, определенными из исследований механизма токопрохождения через МДП структур, изученных в рамках теоретических моделей. Фаулера-Нордгейма и Шоттки.

The mechanism of switch and memory effects in the thin-layer M-I-S structures was investigated by thermostimulated depolarization method and measuring volt-capacity characteristics. The quantitative agreement with the measurement data mechanism of current passing in MIS structures study in the framework of Fowler's-Nordheim's and Schottky's theory, is resemble closely.

Дефектная структура диэлектрических пленок в МДП структурах приводит к возникновению многочисленных центров захвата свободных носителей заряда-ловушек, концентрация которых в зависимости от технологии изготовления диэлектрика колеблется в пределах 10^{14} - 10^{20} см⁻³. Наличие ловушек, пространственно локализованных в слое диэлектрика (объемные ловушки) и на границе его раздела (барьерные ловушки) оказывают существенное влияние на природу токопрохождения через диэлектрическую пленку, на надежность и стабильность характеристик полупроводниковых приборов и интегральных схем. В связи с этим исследование энергетического спектра ловушечных уровней представляет несомненный интерес. Для этих целей наиболее подходящим является метод термостимулированной деполяризации (ТСД) [1-3]. Наблюдаемое в исследуемых нами МДП структурах на халькогенидах серебра (Al-Al₂O₃-Ag₂S(Se,Te) зависимость тока от напряжения с не взаимно-однозначной вольтамперной характеристикой (ВАХ), где одно значение тока может соответствовать трем разным значения напряжения, на наш взгляд, инициирована захватом электронов на ловушки, расположенные в запрещенной зоне диэлектрика (Al₂O₃) (N-тип ВАХ), и туннелирование электронов из валентной зоны окисла и ловушечных уровней в полупроводник под действием сильного электрического поля (S-тип ВАХ)

Исследования проводились на тонкопленочной МДП структуре Al-Al₂O₃-Ag₂Se-Ag рабочей площадью 1,07 мм², в которой все слои получены вакуумным напылением: сначала напылялся Al, затем, экспонированием на воздухе на нем создавался Al₂O₃ (60Å), далее напылялись Ag₂Se и Ag. Кривые ТСД измерялись по методике, описанной в [1]. Для заполнения ловушек к МОП структуре прикладывалось поляризующее напряжение, под которым она охлаждалась от комнатной температуры до температуры жидкого азота. Затем напряжение отключалось и образец подключался в измерительную цепь. Последующий нагрев образца с постоянной скоростью (~0,32град/сек) приводит к появлению во внешней цепи тока ТСД, создаваемого за счет носителей, термически освобождаемых из ловушек. Электронметр для регистрации токов ТСД включался так, что положительному знаку тока соответствовал перенос электронов в направлении полупроводник-диэлектрик-металл.

На рис.1 представлены типичные кривые ТСД исследуемых МОП структур, снятые при подаче на нижний алюминиевый электрод отрицательного (сплошная кривая) и положительного (пунктирная кривая) смещений. По мере повышения температуры в обоих направлениях наблюдается два четких максимума тока, обусловленные освобождением носителей заряда из ловушек (низкотемпературный пик) и потоком электронов из полупроводника в диэлектрик (высокотемпературный пик). Положение и максимум высокотемпературного пика зависят, а низкотемпературного не зависят от полярности приложенного напряжения, что по-видимому, свидетельствует о доминирующей роли в переносе носителей заряда через образец в первом случае, процессов на границе окисла, а во втором- в его объеме [4]. При повторных измерениях, производимых после охлаждения структуры до комнатной температуры, вид кривых ТСД практически сохраняется, что указывает на обратимость процессов заполнения и опустошения ловушек. На рис.2 представлена зависимость токов ТСД от величины поляризующего напряжения при различных температурах. Рост напряжения поляризации приводит к увеличению пика ТСД и соответственно, площади под кривыми (рис.3), что позволяет считать, что внешнее электрическое поле снижает энергию активации соответствующих уровней.

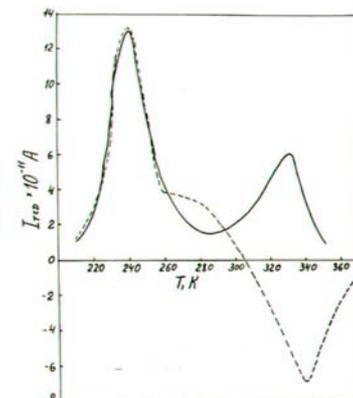


Рис.1. Вид кривых ТСД структуры Al-Al₂O₃-Ag₂Se-Ag при отрицательном (сплошная) и положительном (пунктирная) смещении на (Al) электроде.

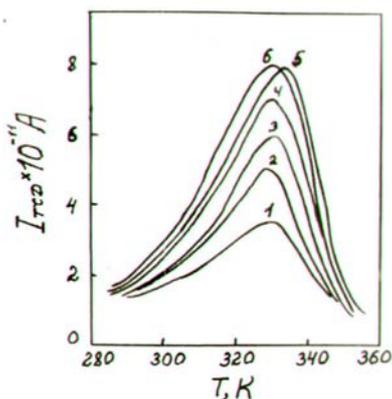


Рис.2 Токи ТСД при различном поляризующем напряжении ($U_p, В$): 1-0,6; 2-0,8; 3- 1,0; 4-1,2; 5-1,4; 6-1,6.

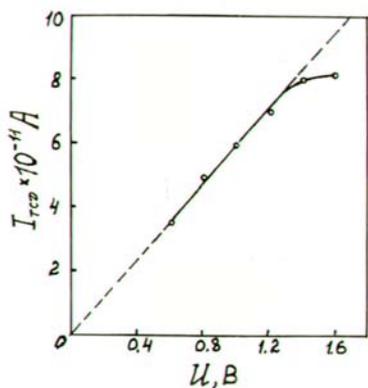


Рис.3. Зависимость тока максимума ТСД от напряжения поляризации.

Из анализа кривых ТСД по приведенным в работе [5] формулам:

$E_t = kT_m^2 / (T_2 - T_m)$; $N_t = N_c E_t / kT \beta \cdot (kT_m / E_t)^2 \cdot \exp(-E_t / kT_m)$,
 где: T_m , T_1 , T_2 - температуры максимума ТСД и его полувисот на низкотемпературном и высокотемпературном склонах соответственно; k - постоянная Больцмана; N_c эффективная плотность состояний в диэлектрике, τ - время жизни носителей на ловушках ($\sim 10^{-7}$ сек); β - скорость нагревания (0,32град/сек). Были определены глубина залегания и концентрация ловушечных уровней: $E_{t1} = 0,38eV$; $N_{t1} = 1,0 \cdot 10^{17} cm^{-3}$ по низкотемпературному, и $E_{t2} = 0,85eV$; $N_{t2} = 7 \cdot 10^{17} cm^{-3}$ по высокотемпературному пикам.

Измерение вольт-ёмкостной характеристики проводилось на полуавтоматическом мосте ВМ-484 и измерителе ёмкостей маломощных транзисторов Л2-28, снабженными внешним генератором и приставкой. Паразит-

ные емкости, связанные монтажом и соединительными проводами, исключались применением калиброванных проводов. С- U характеристики снимались на структурах в высокоомном состоянии (10^3 - 10^4 Ом).. На рис.4 показана вольт-ёмкостная характеристика, снятая при 300 К, при полярности (-) на алюминиевом электроде. До напряжения $< 0,6В$ ёмкость структуры практически не зависит от величины приложенного напряжения; в области 0,6–1,7В наблюдается её значительное уменьшение. Дальнейшее увеличение напряжения вплоть до пробоя не вызывает изменений в величине измеряемой ёмкости. Из представленной на рис.5 зависимости квадрата обратной ёмкости от напряжения найдено, что высота потенциального барьера на границе Al-Al₂O₃ составляет $\sim 0,87эВ$. Аналогичная обработка результатов дала величину высоты барьера на границе Al₂O₃-Ag₂Se равную $\sim 0,74$ эВ.

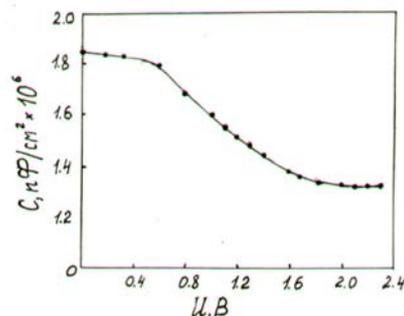


Рис.4. С-U характеристика структуры при 300 К.

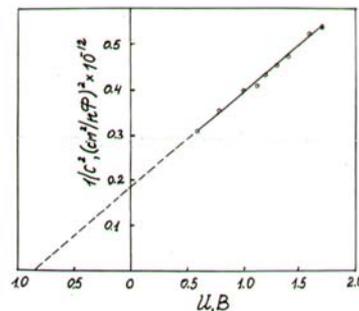


Рис.5 Зависимость квадрата обратной ёмкости от напряжения при 300 К.

Полученные из измерений ТСД и С-U характеристик высоты потенциальных барьеров в исследуемой структуре хорошо согласуются с данными, ранее полученными нами из рассмотрения механизма токопрохождения в рамках теорий Фаулера- Нордгейма и термоэлектронной эмиссии Шоттки.

[1]. Ю.А.Гороховатский. Изв. АН Латвийской ССР, серия физ. и техн. Наук, 1972, №3, 15.
 [2]. А.И. Перельгин, Ю.Г. Садофьев, А.П.Колесников Изв. ЛПИ им.Калинина, 3,Л.1973.
 [3]. Ю.Г.Садофьев, А.И. Перельгин. Микроэлектроника, 3, 1974, №6, 520.

[4]. J.G. Simmons, G.S. Nadkarni. Phys.Rev .v.6,12, 4815,1972.
 [5]. П.Г.Литовченко, В.И. Устьянов. В кн. «Актуальные вопросы физики полупроводников и полупроводниковых приборов». Вильнюс, 1969.