

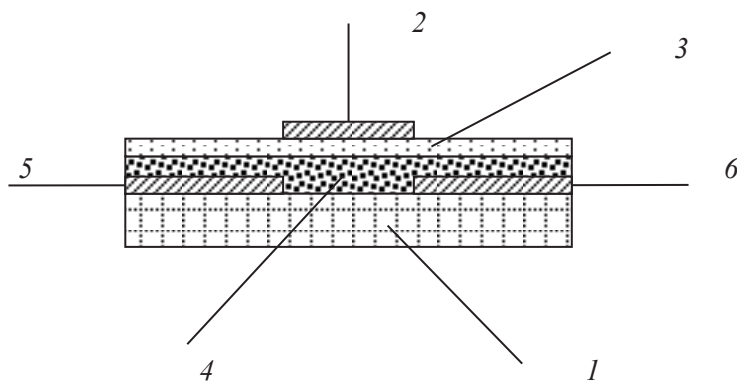
УДК 539.213.2

А.В. Мисевич<sup>1</sup>, доц., канд. физ.-мат. наук; А.Н. Лаппо<sup>1</sup>, ассист.;  
В.К. Долгий<sup>2</sup>, доц., канд. физ.-мат. наук  
<sup>1</sup>(БГТУ, г. Минск), <sup>2</sup>(БГАТУ, г. Минск)

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕНСОРНОЙ МДП-СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ И ОКСИДА ИНДИЯ

Одним из перспективных направлений разработки химических сенсоров с высокой чувствительностью, селективностью и стабильностью является формирование сенсорного элемента в виде тонкопленочного полевого транзистора, представляющего собой МДП-структуру, в которой сенсорным слоем может быть как полупроводник, так и диэлектрик [1, 2]. Цель исследования – разработать методы получения и экспериментально исследовать электрические и сенсорные свойства органо-неорганических МДП-структуры, включающих слои металла, фталоцианина меди ( $\text{CuPc}$ ) и оксида индия ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ).

Органо-неорганическая МДП-структура, включающая слои золота, фталоцианина меди и оксида индия, представляет собой тонкопленочный полевой транзистор, схематичное изображение которого представлено на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Сенсорная МДП-структура золото/фталоцианин меди/оксид индия в виде тонкопленочного полевого транзистора:**

**1 – подложка из слюды; 2 – управляющий золотой электрод (затвор);  
3 – слой диэлектрика (фталоцианин меди); 4 – полупроводниковый слой (оксид индия); 5, 6 – платиновые электроды исток и сток**

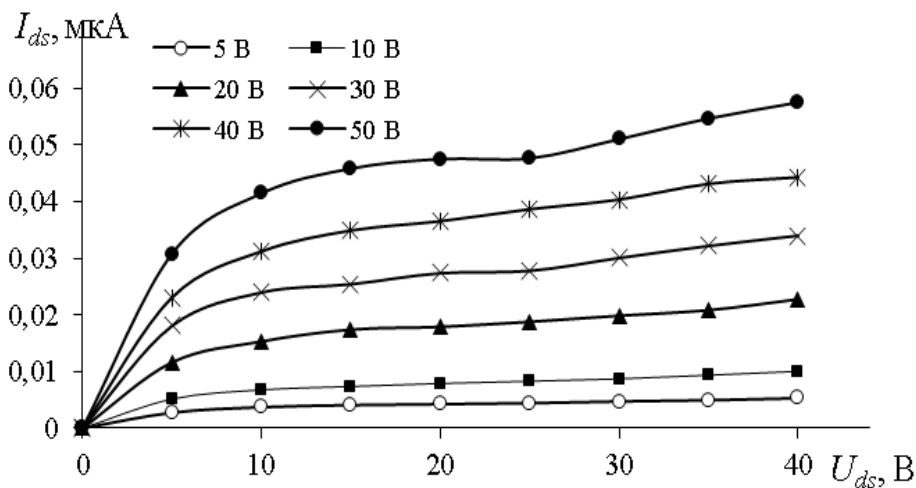
Для получения МДП-структуры на свежесколотую поверхность кристалла слюды методом магнетронного распыления на постоянном токе осаждались платиновые электроды исток и сток толщиной  $\sim 20$  нм. Далее на слюдяной подложке формировался полупроводниковый слой оксида индия  $\text{In}_2\text{O}_3$  толщиной  $\sim 50$  нм. Для этого сначала методом магнетронного распыления на постоянном токе осаждалась

тонкая пленка индия, а потом методом окисления в электрической муфельной печи синтезировалась тонкая пленка оксида индия. Поверх слоя оксида индия методом термического распыления в вакууме осаждался слой фталоцианина меди толщиной  $\sim 100$  нм, который выполнял в транзисторе роль подзатворного диэлектрика. Затем методом термического распыления в вакууме осаждался золотой электрод, который является управляющим электродом, т. е. затвором полевого транзистора. Оксид индия, являющийся оксидным полупроводником *n*-типа, выступает в роли канала проводимости (длина канала  $100 \pm 10$  мкм, а ширина – около 10 мкм). Фталоцианин меди – это органический полупроводник *p*-типа, удельная проводимость которого на несколько порядков меньше удельной проводимости оксида индия, что позволяет использовать его в качестве подзатворного диэлектрика. Такая последовательность изготовления и конфигурация слоев МДП-структуры позволяет избежать в процессе высокотемпературного окисления индия деструкции фталоцианинового слоя. Кроме того, верхнее расположение слоя фталоцианина меди облегчает доступ к нему газообразных компонентов. Отсутствие в данной МДП-структуре слоев недостаточно устойчивых к нагреванию позволяет производить электрические измерения при температурах вплоть до  $200^\circ\text{C}$ .

На рисунке 2 представлены выходные характеристики транзистора, измеренные в воздухе при различных значениях потенциала на затворе. Участки насыщения, наблюдаемые на вольтамперных характеристиках, свидетельствуют об образовании в канале проводимости транзистора области положительного пространственного заряда. При отрицательном относительно истока потенциале затвора сила выходного тока транзистора мала и слабо зависит от потенциала затвора.

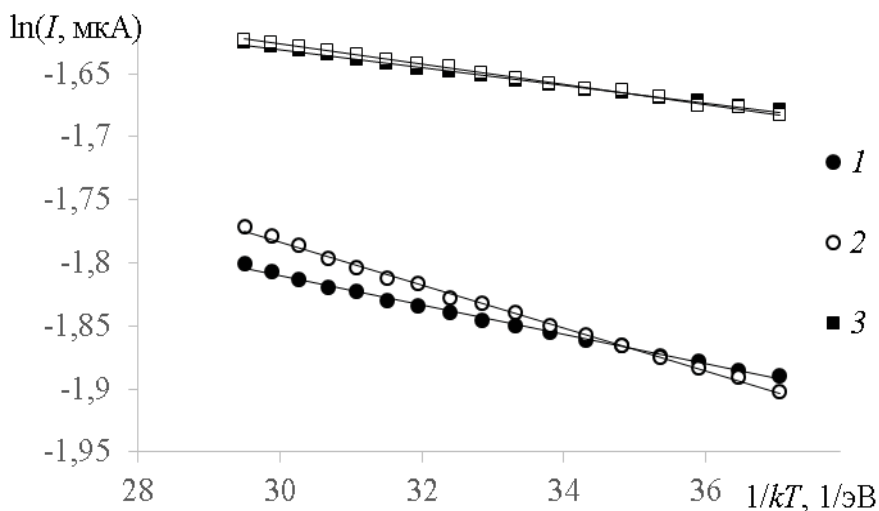
Из представленных на рисунке 3 температурных зависимостей силы тока насыщения транзистора следует, что сила тока насыщения в присутствии кислорода воздуха ниже, чем при измерениях в вакууме, причем температурная зависимость силы тока насыщения в воздухе и в вакууме характеризуется разными энергиями активации: для воздуха – 10 мэВ при увеличении температуры в процессе измерения и 16 мэВ при снижении, а для вакуума – 6 и 8 мэВ, соответственно. Показано, что обнаруженный рост выходного тока транзистора, связанный с уменьшением концентрации адсорбированного кислорода, обусловлен тем, что адсорбированный кислород образует в оксиде индия центры рассеяния носителей заряда, и уменьшение его концентрации приводит к увеличению подвижности носителей заряда. Кроме того, снижение концентрации адсорбированного кислорода изменяет свойства

фталоцианина меди таким образом, что объемный положительный электрический заряд в слое оксида индия на границе раздела с фталоцианином меди уменьшается, что приводит к росту силы тока через канал транзистора.

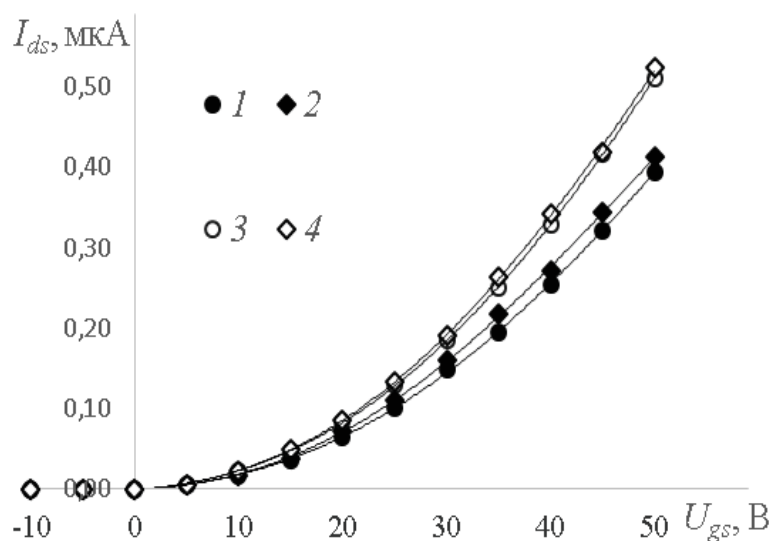


**Рисунок 2 – Выходные (стоковые) характеристики тонкопленочного полевого транзистора с диэлектриком на основе фталоцианина меди и полупроводниковым слоем на основе оксида индия, измеренные в воздухе при различных значениях потенциала на затворе.**

По горизонтальной оси отложено напряжение между стоком и истоком, а по вертикальной – выходной ток транзистора



**Рисунок 3 – Температурные зависимости силы тока насыщения полевого транзистора с диэлектриком CuPc и полупроводниковым слоем  $In_2O_3$ , измеренные в воздухе и вакууме при значении потенциала смещения затвора 30 В и разности потенциалов между стоком и истоком 30 В: измерения выполнены: 1, 2 – в воздушной среде; 3, 4 – в вакууме; 1, 3 – при нагревании; 2, 4 – при охлаждении**



**Рисунок 4 – Переходные характеристики тонкопленочного полевого транзистора с диэлектриком на основе фталоцианина меди и проводящим слоем на основе оксида индия, измеренные в воздухе (1, 2) и в вакууме (3, 4), при температуре 25°C (1,3) и 80°C (2, 4) при напряжении между стоком и истоком 30 В**

Подача положительного потенциала на управляющий электрод тонкопленочного полевого транзистора, позволяет на три порядка (1000 раз) увеличить полезный токовый сигнал сенсора. Переходные характеристики, представленные на рисунке 4, показывают значительный рост выходного тока насыщения транзистора при увеличении положительного потенциала затвора. При этом температура измерения оказывает на результирующий выходной ток транзистора на много меньшее влияние, чем химический состав окружающей газовой среды (вакуум или воздух).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wen Y. Liu Y. Recent Progress in n-Channel Organic Thin-Film Transistors. *Adv. Mater.* 2010. Vol. 22. P. 1331–1345.
2. Melville O.A., Lessard B.H., Bender T.P. Phthalocyanine-Based Organic Thin-Film Transistors: A Review of Recent Advances. *Appl. Mater. Interfaces.* 2015. Vol. 7. P. 13105–13118.