

фталоцианина меди реализуется прыжковый механизм проводимости, причем в зависимости от концентрации адсорбированного кислорода, проводимость может осуществляться либо по собственным состояниям, либо по примесным состояниям кислорода, при этом примесные уровни лежат по шкале энергий ниже собственных; определены значения радиусов локализации собственных и примесных состояний и концентрация центров локализации в материале без примесей. Впервые определены микроскопические параметры прыжковой проводимости в  $\text{CuPcF}_{16}$  – радиусы локализации собственных и примесных состояний и концентрация состояний в материале без примесей. Замещение в молекулах фталоцианина меди атомов водорода атомами фтора приводит к появлению примесной проводимости при низкой концентрации адсорбированного кислорода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Почтенный, А. Е. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианина свинца / А. Е. Почтенный, А. В. Мисевич // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29. – С. 56 – 61.

УДК 539.213.2

Русак Л. Д., магистрант;  
Почтенный А. Е., доц., канд. физ.-мат. наук;  
Мисевич А. В., доц., канд. физ.-мат. наук, (БГТУ, г. Минск)  
[misevich@rambler.ru](mailto:misevich@rambler.ru)

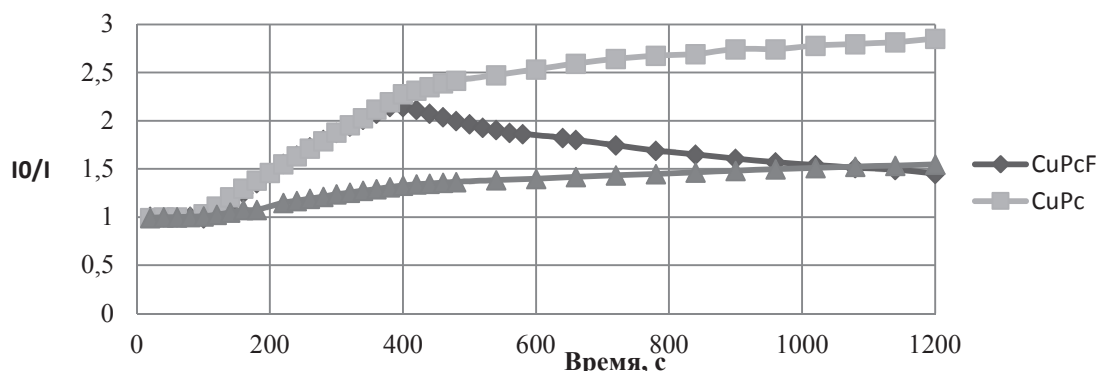
#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЕНОК ФТОРЗАМЕЩЕННОГО ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ ДЛЯ СЕНСОРА КОНТРОЛЯ АММИАКА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСАХ**

Целью работы является установление влияния адсорбции аммиака на проводимость пленок ряда фталоцианинов.

В данной работе исследовались пленки фталоцианина меди ( $\text{CuPc}$ ), фталоцианина свинца ( $\text{PbPc}$ ) и фторзамещенного фталоцианина меди ( $\text{CuPcF}_{16}$ ), которые были нанесены по подложки из поликора со встречно-штыревой системой электродов.

Измерения проводились следующим образом: на образец, помещенный в измерительную ячейку, подавали напряжение 15 В, через 60 секунд после подачи напряжения через измерительную ячейку начинали прокачивать смесь аммиака с воздухом, прокачка продолжалась 5 минут, после чего через ячейку начинали прокачивать воздух без аммиака. Смесь воздух – аммиак была получена продуванием воздуха через раствор аммиака. Измерение токов проводилось электрометром с интервалом в 20 секунд. В ходе измерений было установле-

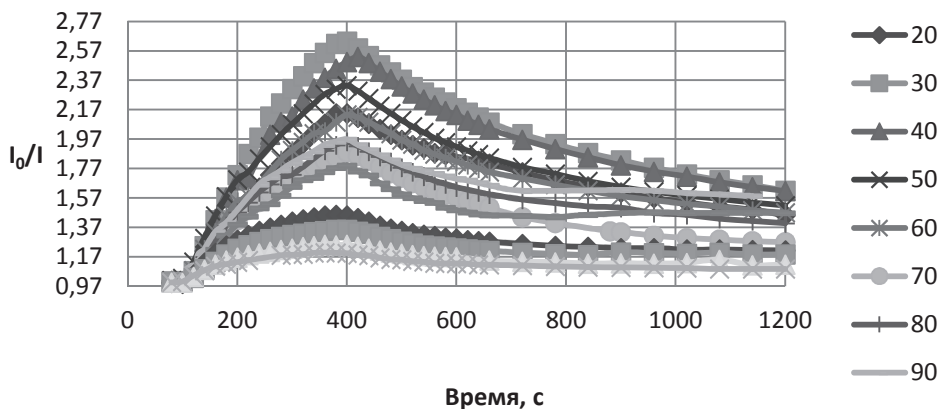
но, что определению аммиака в газовой смеси мешают пары воды, поэтому получаемая газовая смесь осушалась.



**Рисунок 1 – Характеристика отклика на аммиак фталоцианинов**

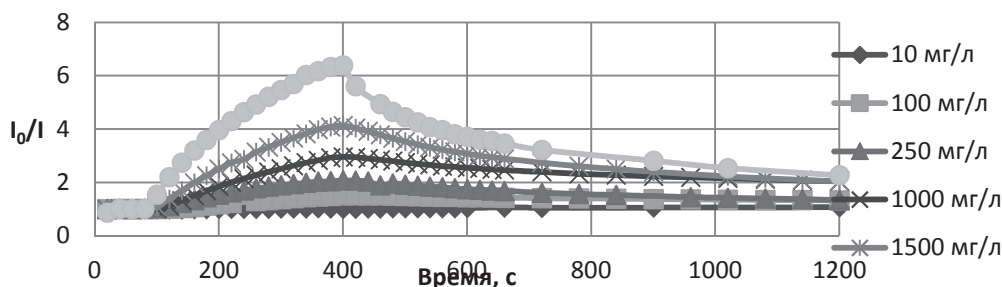
На рисунке 1 показано, что обратимый отклик на аммиак имеется только у CuPcF<sub>16</sub>, поэтому в дальнейшем в исследованиях использовались только пленки CuPcF<sub>16</sub>.

Известно, что температура оказывает влияние на динамику процессов адсорбции/десорбции, вместе с тем проводимость фталоцианинов зависит от температуры экспоненциально. Поэтому измерения были произведены при разных температурах, но с одинаковыми концентрациями аммиака, для выявления температуры соответствующей наибольшей чувствительности к адсорбции аммиака (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Температурные зависимости отклика**  
(температура указана в °C)

Как показано на рисунке 2, наибольший отклик достигается при 30 °C и с ростом температуры уменьшается. Измерения не производились выше 150 °C во избежание деструкции пленок.



**Рисунок 3 – Концентрационные зависимости отклика на аммиак**

Измеренные концентрационные зависимости отклика пленок от концентрации раствора аммиака представлены на рисунке 3. Измерения концентрационных зависимостей производились при температуре 50°C, для уменьшения влияния колебаний температур окружающей среды. С ростом концентрации аммиака возрастает отклик, поэтому проведя большое количество измерений при разных концентрациях аммиака, была получена зависимость максимального отклика пленки (при этом наблюдается минимальное значение силы тока) от концентрации аммиака (рисунок 4).

В ходе изучения зависимости адсорбционно-резистивного отклика от концентрации раствора аммиака (рисунок 4), была получена аппроксимирующая зависимость (1), достоверность аппроксимации –  $R^2 = 0,927$ :

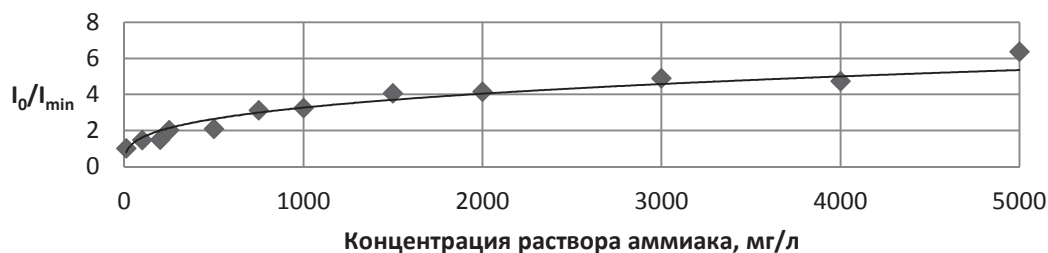
$$y = 0,392 \cdot x^{0,306} \quad (1)$$

где  $y = I_0/I$ ,  $x = C_p$  ( $C_p$  – концентрация аммиака в растворе, мг/л).

Из выражения (1) получаем:

$$C_p^{0,306} = 2,551 \cdot I_0/I \quad (2)$$

где  $I_0$  – значение силы тока в начальный момент подачи смеси воздуха с аммиаком, А;  $I$  – значение силы тока через 5 минут после начала подачи смеси воздуха с аммиаком, А.



**Рисунок 4 – Зависимость адсорбционно-резистивного отклика от концентрации раствора аммиака**

Для определения содержания аммиака в газовой смеси была использована методика определения концентрации аммиака фотоколометрическим методом с реактивом Несслера.

Методика основана на образовании окрашенного в желтый цвет соединения при взаимодействии аммиака с реактивом Несслера и последующем измерении содержания аммиака фотоколориметрическим методом. Для построения градуировочной зависимости были приготовлены стандартные растворы, по результатам фотоколориметрии которых была получена зависимость оптической плотности от содержания аммиака.

Зависимость оптической плотности от содержания аммиака:

$$D = 0,072 \cdot m - 0,021 \quad (3)$$

где  $m$  – содержание аммиака в пробе, мкг.

Концентрация аммиака в газовой смеси определяется по выражению (4):

$$C = 1,2 \cdot m / V_0 \quad (4)$$

где  $V_0$  – объем газовой пробы приведенный к нормальным условиям,  $\text{дм}^3$ ; коэффициент 1,2 получен отношением объема примененного поглотительного раствора (6 мл) к объему пробы используемой для определения содержания аммиака (5 мл).

$$V_0 = V \cdot 273 \cdot P / 760 \cdot (273 + t) \quad (5)$$

где  $V$  – объем газа при условиях отбора,  $\text{дм}^3$ ;  $P$  – атмосферное давление, мм рт. ст.;  $t$  – температура газа,  $^{\circ}\text{C}$ .

После измерения концентрации аммиака в газовой смеси при заданных концентрациях раствора аммиака, была получена аппроксимирующая зависимость (достоверность аппроксимации –  $R^2 = 0,924$ ), выразив из которой значение концентрации аммиака в растворе получим:

$$C_p = e^{(0,553 C_2 + 1,890)} \quad (6)$$

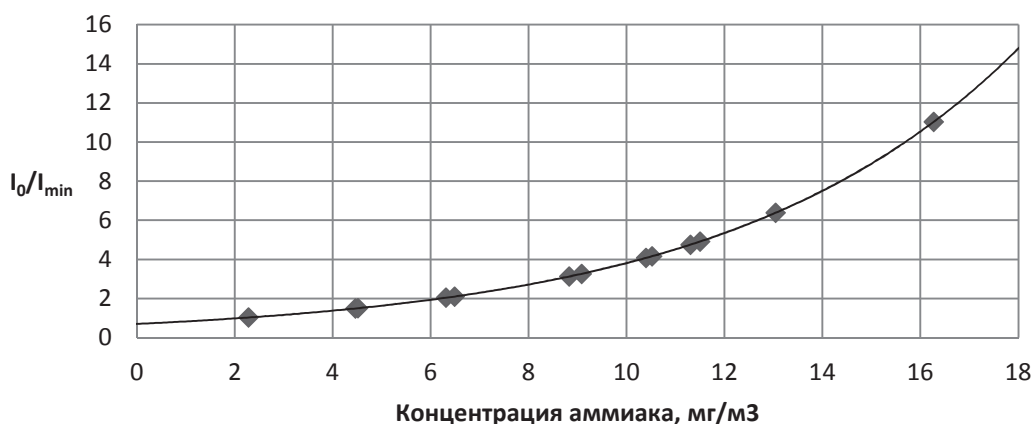
где  $C_2$  – концентрация аммиака в газовой смеси,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

Далее подставляя выражение (6) в выражение (2), получим:

$$(e^{(0,553 C_2 + 1,890)})^{0,306} = 2,551 \cdot I_0 / I \quad (7)$$

Преобразовав выражение (7), получим зависимость концентрации аммиака в газовой смеси от отклика сенсора (рисунок 5):

$$C_2 = 5,908 \cdot \ln(2,551 \cdot I_0 / I) - 3,418 \quad (8)$$



**Рисунок 5 – Зависимость отклика сенсора от концентрации аммиака**

Из данной работы можно сделать следующие выводы:

- проводимость пленок  $\text{CuPcF}_{16}$  обратимо изменяется в присутствии в газовой смеси воздух–аммиак;
- проводимость пленок  $\text{CuPcF}_{16}$  зависит от температуры и концентрации аммиака в газовой смеси; наибольший отклик достигается при комнатных температурах, что позволит в конструкции сенсора обойтись без нагревательного элемента;
- на основе данных пленок возможно разработать газовые сенсоры для контроля концентрации или превышения установленного значения концентрации аммиака в газовых смесях;
- измерения сенсором на основе пленок  $\text{CuPcF}_{16}$  можно производить как периодически, так и непрерывно.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Почтенный, А. Е. Расчет параметров прыжковой проводимости в композитных пленках фталоцианин меди-полистирол / А. Е. Почтенный, Л. Д. Русак // Сборник научных работ 63-й научно-технической конференции студентов и магистрантов 23-28 апреля 2012 г. – Минск: БГТУ, 2012. – С. 28-31.
- 2 Почтенный, А. Е. Прыжковая проводимость во фталоцианине меди и композиционных структурах на его основе / А. Е. Почтенный [и др.] // Физика твердого тела.– 1996.– Т. 38, № 8.– С. 2592–2601.
- 3 Misevich, A. V. The effect of gas adsorption on hopping conduction in metallophthalocyanines / A. V.Misevich, A. E. Pochtenny // Electron Technology. – 2000. – Vol. 33, №1/2. – P. 167–170.