

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ КИСЛОТНОСТИ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ТЕСТ-ПОЛОСКАМИ НА ОСНОВЕ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

¹Ю.Е. Силина, ¹Б.А. Спиридонов, ¹В.П. Горшунова, ²Т.А. Кучменко

¹Воронежский государственный технический университет,
кафедра химии

394000, г. Воронеж, Московский пр-т, 14

²Воронежская государственная технологическая академия,
кафедра физической и аналитической химии,

394000, г. Воронеж, пр-т Революции, 19

mssila@yandex.ru

Поступила в редакцию 8 апреля 2011 г.

Обсуждается применение в качестве твердого носителя тонких пленок рН-индикаторов нанопористого оксида алюминия, как основы полосок для тест-анализа воздуха. Рассмотрено влияние условий синтеза нанопористой матрицы Al_2O_3 на ее функциональные свойства; выбраны хромогенные реагенты для модификации матрицы; оценены качественные и количественные характеристики сформированных тест-полосок.

Ключевые слова: хромогенные реагенты, нанопористый оксид алюминия, анодирование, аммиак, пары уксусной кислоты, цветометрия, сканер-технологии, тест-полоски.

Силина Юлия Евгеньевна – к.х.н., доцент кафедры химии ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ).

Область научных интересов: химические тест-методы, газовый анализ, микрогравиметрия, химия тонких пленок, наноструктурированные композиты.

Опубликовано более 50 печатных работ.

Спиридонов Борис Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры химии ГОУ ВПО ВГТУ.

Область научных интересов: физико-химия тонких пленок, электрохимические методы анализа, коррозия, анодные способы получения ультрадисперсных покрытий, нанохимия.

Опубликовано более 120 печатных работ.

Горшунова Валентина Павловна – к.х.н., доцент кафедры химии ГОУ ВПО ВГТУ.

Область научных интересов: модифицированные сорбенты, сорбционное извлечение и концентрирование, нанохимия.

Опубликовано более 100 печатных работ.

Кучменко Татьяна Анатольевна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой физической и аналитической химии ГОУ ВПО «Воронежская государственная технологическая академия»

Область научных интересов: пьезокварцевое микровзвешивание, разработка тест-методов анализа, сенсоры, физико-химия тонких пленок и гетероструктур, нанохимия.

Опубликовано более 400 печатных работ.

Введение

Существует большое количество тест-методов определения кислотности газовой фазы [1, 2]. Так, например, для оценки кислотно-основных свойств аналитов традиционно используют значения энергии их диссоциации и диэлектрической проницаемости среды. При определении же общей кислотности газовой фазы применяют не прямые индикаторные методы, основанные

на измерении положения равновесия в смесях кислот, индикаторов и их солей [1]. Ограничением указанных методов является невозможность получения абсолютных значений кислотности и необходимость вычислений. Среди прямых способов анализа широкое распространение получили индикаторные на основе бумажных тест-полосок. К их преимуществам относятся наглядность, доступность и простота использования, к недостаткам – невозможность определе-

ния кислотообразующих газов и паров в воздухе без предварительного концентрирования пробы, регенерации и применения в агрессивных средах, недостаточно высокое «время жизни» тест-полосок даже без проведения испытаний [3-5]. Портативные цифровые устройства позволяют определять только относительную влажность воздуха и содержание некоторых газов, а применение индикаторных трубок для определения индивидуальных загрязнителей, присутствующих в газовой фазе и влияющих на содержание веществ кислотообразующего характера в воздухе, ограничено неустойчивостью индикаторов во времени, субъективностью фиксации аналитического сигнала и т.д. [2].

При разработке альтернативных тест-устройств анализа газовой фазы основная задача состоит в выборе подложки и реагента для ее модификации. В качестве носителей наиболее распространенные получили ионообменники, кремнеземы, целлюлоза, пенополиуретаны, желатиновые мембраны, однако приоритет сохраняется за наноструктурированными материалами, одним из примером которых являются мембраны анодированного нанопористого оксида титана и алюминия (НпОА). Преимущества таких подложек заключаются в высокой удельной поверхности (до 500 м²/г – для алюминия и 400 м²/г – для титана), химической и механической прочности, фрактальной структуры поверхности ($D = 2,43$), невысокой стоимости (оксид алюминия). В виду многостадийности процесса синтеза мембран пористого оксида титана по сравнению с НпОА его применение менее предпочтительно в нанохимии. Уникальная пористая структура НпОА, параметры которой (диаметр, длина и расстояние между соседними порами) возможно варьировать в процессе синтеза, позволяет использовать эти пленки в качестве неорганических мембран, матриц для синтеза наноматериалов с контролируемым диаметром [6-8].

Цель работы – разработка тест-устройства для определения общей кислотности газовой фазы на основе НпОА.

Задачи исследования: выбор условий синтеза упорядоченных структур Al₂O₃, растворов модификаторов для насыщения пор матрицы; определение условий формирования пленки кислотно-основных индикаторов; оценка метрологических характеристик определения концентрации веществ с кислотно-основными свойствами тест-полосками на основе нанопористого Al₂O₃.

Экспериментальная часть

Для синтеза пленок НпОА применяли методику двухстадийного окисления [9, 10]. Предварительно алюминиевую фольгу общей площадью 40 см² и толщиной 60 мкм полировали

до зеркального блеска алмазными пастами, последовательно уменьшая размер зерна абразива (9 и 3 мкм), затем отжигали ее в течение 30 мин при 300 °С.

Анодное окисление алюминия осуществляли из раствора сульфосалициловой кислоты с концентрацией 0,6 М при плотности анодного тока 1 А/дм² и времени анодирования 40 мин в двухэлектродной электрохимической ячейке с использованием источника постоянного тока [9]. Анод – алюминиевая фольга, вспомогательный электрод – платиновая пластина. Поверхность и профиль полученной наноструктурированной матрицы изучали с использованием сканирующего электронного микроскопа GSM 63-80 LV.

Сформированные матрицы НпОА модифицировали пленками рН-индикаторов, выдерживая их в течении 24 ч в эквимольной смеси водных растворов метилоранжа (**А**) и водно-спиртового раствора бромтимолового синего (**Б**) с концентрацией 0,0100 г/см³, а также смеси **А** с бромфеноловым синим (**В**) до равномерного прокрашивания темно-красными растворами реагентов и появления золотисто-соломенной пленки на поверхности. Также для импрегнирования в матрицы НпОА использовали некоторые другие смеси рН-индикаторов: индигокармин (**Г**) с **А**; тимолфталейн (**Д**) с фенолфталейном (**Е**); многокомпонентную смесь (**Г + А**) с (**Д + Е**). Выбор модификаторов матрицы НпОА связан с их доступностью, присутствием в растворах большинства смешанных индикаторов (смесь Вант-Урка, Чута, Лангера), а также традиционным применением для качественного определения газов, влияющих на содержание кислотно-основных веществ в воздухе (бромфеноловый синий – аммиак) [11].

Сформированные пленки промывали дистиллированной водой; сушили при температуре 50 °С в течение 30 мин, приращение массы оценивали гравиметрически. В идентичных условиях модифицировали растворами рН-индикаторов алюминиевую фольгу, прошедшую стадии отжига и полировки, но не подвергнутую анодированию (холостой опыт).

Сорбционную емкость анодированной матрицы оценивали по модельным газовым растворам аммиака (имитация основной реакции среды), уксусной кислоты (имитация кислой реакции среды) [12]. Концентрацию паров веществ-имитаторов формировали в пределах от ПДК_{п.з} до 20 ПДК_{п.з} для моделирования критических (предельных) условий работы в присутствии агрессивных сред и контролировали с помощью портативных газоанализаторов АНТ-3 и ГАНК-4.

Аналитическим сигналом алюминиевых тест-полосок является изменение цвета поверхности модифицированных матриц при появлении в воздухе кислотообразующих веществ, который оценивали двумя методами: визуально и

методом сканирования цветowych шкал [13, 14]. Полученные с помощью сканера изображения элементов цветowych шкал анализировали по светлоте, насыщенности и разнооттеночности в координатах R, G, B с помощью стандартной программы Adobe Photoshop.

Достоверность (надежность) тест-способа оценки общего содержания кислотообразующих газов и паров в воздухе контролировали по R-критерию [13]:

$$R = 100 - \alpha - \beta, \quad (1)$$

где α – вероятность ложного заключения об отсутствии аналита (ошибка I рода), %; β – вероятность ложного заключения о присутствии аналита (ошибка II рода, %).

Частоту ложных отрицательных результатов ($\hat{\alpha}$) рассчитывали по уравнению (2), а частоту ложных положительных ($\hat{\epsilon}$) по формуле (3):

$$\hat{\alpha} = N_{FN} / (N_{TP} + N_{FN}), \quad (2)$$

где N_{TP} – число правильных положительных результатов, N_{FN} – число ложных отрицательных результатов;

$$\hat{\epsilon} = N_{FP} / (N_{FP} + N_{TN}), \quad (3)$$

где N_{FP} – число ложных положительных результатов, N_{TN} – число правильных отрицательных результатов [13].

Результаты и их обсуждение

1. Оптимизация стадии синтеза матрицы НпОА для аналитического использования

Микроструктурными исследованиями установлено, что сформированная матрица НпОА имеет высокоупорядоченную структуру с однородным гексагональным распределением пор по размерам в интервале 30-60 нм (рис. 1, а). Микрофотография поперечного скола мембраны Al_2O_3 подтверждает, что поры распо-

лагаются перпендикулярно плоскости пленки и имеют одинаковый диаметр по всей протяженности. Плотность пор составляет 10^9 - 10^{10} пор/см², их занимаемая площадь от общей площади оксидной пленки составляет 36-40 %.

Прирост массы матрицы после нанесения растворов индикаторов составил 0,0020 г (относительная погрешность воспроизведения морфологии поверхности и структуры пленки при заполнении пор не превышает $\pm 2,4$ %). Такой эффект достигается за счет того, что в качестве носителя используется НпОА, что обеспечивает адсорбцию хромогенных реагентов не только на поверхности, но и в каналах матрицы, что значительно повышает ее насыщение, и как следствие – увеличивается чувствительность модификаторов к изменению концентрации кислотообразующих газов и паров в воздухе.

При нанесении индикаторов на матрицы НпОА, полученного при времени анодирования 1-2 мин (1), а также неанодированной алюминиевой фольги (2), подобных эффектов не наблюдалось. Поверхность матрицы 2 не прокрашивалась, что свидетельствует об отсутствии регулярных пор и каналов в системе, при этом не установлен прирост массы пленки. Матрица 1 прокрашивается до насыщенно-желтого цвета, прирост массы пленки индикаторов в 3 раза ниже, чем на НпОА, полученном при оптимальном времени электролиза 40 мин. Несмотря на различное изменение цвета в парах аммиака (темно-синий цвет) и уксусной кислоты (бурый), после нескольких последовательных экспериментов значительно снижается интенсивность окраски индикаторного слоя и чувствительность модифицированной матрицы 1, зафиксировано снижение массы пленки. При уменьшении времени электролиза на матрице формируются поверхностные гексагональные структуры глубиной 1-5 нм («канавки») вместо полноценных каналов глубиной 10-15 мкм (рис. 1, б). Для модифицированной матрицы анодированного ок-

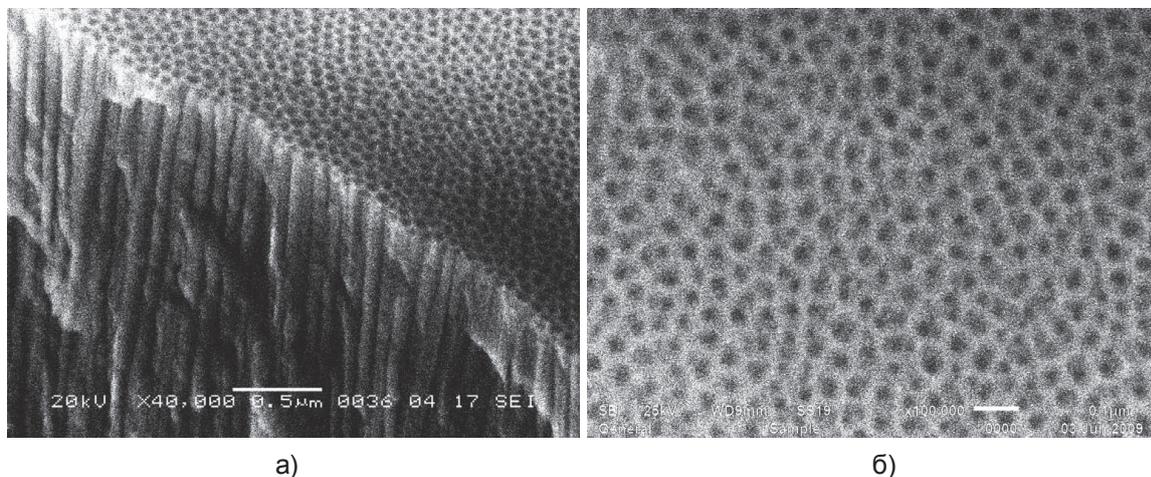


Рис. 1. Фотографии скола немодифицированной матрицы Al_2O_3 , полученной в оптимальных условиях синтеза (а) и ее поверхности, сформированной при времени электролиза 1-2 мин (б)

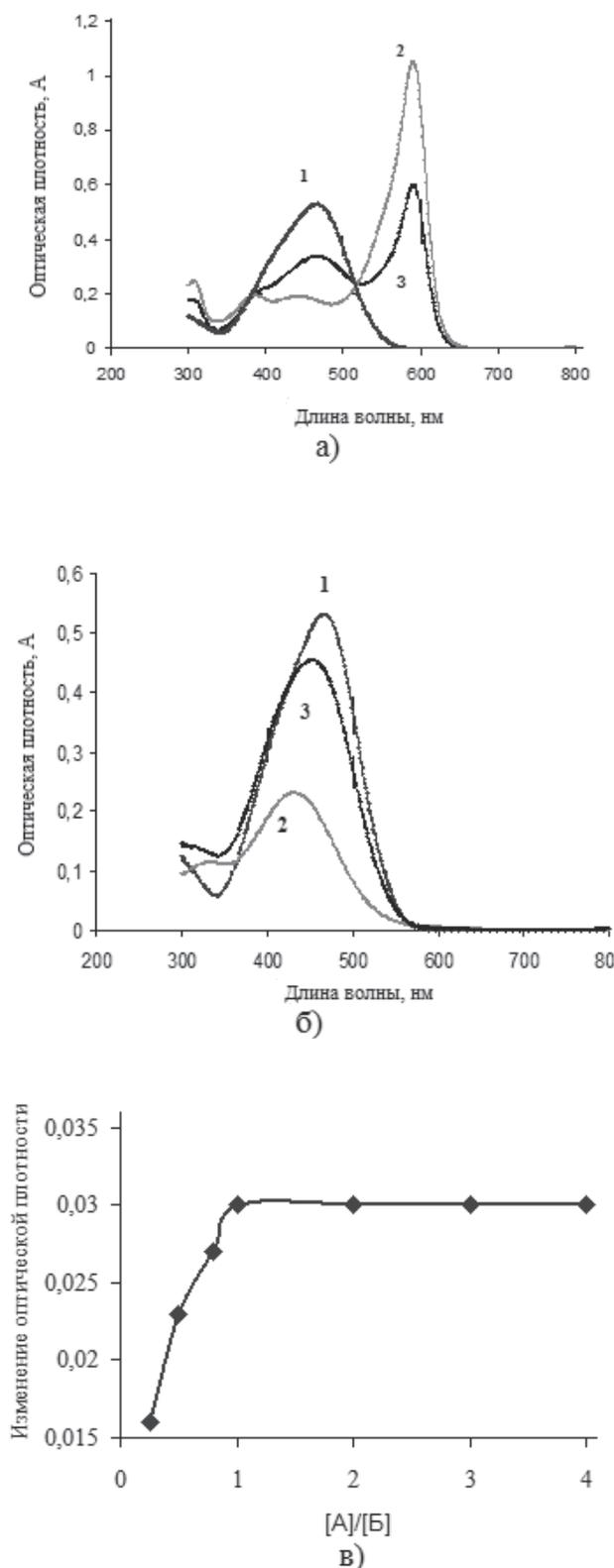


Рис. 2. Спектры поглощения: а - растворов метилоранжевого (1), бромфенолового синего (2) и их смеси (3), $C_{\text{индикаторов}} = 10^{-4}$ моль/дм³; б – растворов метилоранжевого (1), бромтимолового синего (2) и их смеси (3), $C_{\text{индикаторов}} = 10^{-4}$ моль/дм³; в – зависимость изменения оптической плотности растворов от соотношения концентраций **А** с **Б** ($[A] = (0,5-10,0) \cdot 10^{-4}$ моль/дм³, $[B] = 10^{-4}$ моль/дм³, $\lambda = 450$ нм

сида алюминия, синтезированной в течение 40 мин, замедляется парофазное вымывание реагента вследствие большей глубины каналов.

Увеличение времени анодирования до 50-60 мин приводит к росту глубины каналов до 20-25 мкм, однако, при этом наблюдается практически полное окисление алюминия, потеря матрицей пластичности, износоустойчивости и повышение ее хрупкости.

2. Оптимизация стадии модификации матрицы НпОА

Дальнейшей задачей по оптимизации способа получения тест-устройства являлось время выдерживания матрицы в растворах индикаторов. При нахождении НпОА в смесях менее 24 ч, прирост массы пленки незначителен (менее 0,0009 г), интенсивность прокрашивания ниже, что негативно сказывается на аналитическом сигнале. При увеличении времени контакта более 24 ч масса пленки не изменяется (0,0020 г), что связано с полным заполнением каналов и пор матрицы.

Нанесение смеси растворов индикаторов **А** с **В** нецелесообразно из-за трудноразличимой глазом окраски в парах аналитов: в кислых средах – коричневая, в щелочных – болотная, в нейтральных – коричнево-золотистая. Такой эффект связан с нахождением **В** в двухзарядной форме, которая плохо образует ионные ассоциаты, и соблюдением закона аддитивности светопоглощения (рис. 2, а), характеристические длины волн в спектре индивидуальных индикаторов и их смеси совпадают: $\lambda_{\text{max}}(\mathbf{A}) = 465$ нм, $\lambda_{\text{max}}(\mathbf{B}) = 590$ нм, $\lambda_{\text{max}1}(\mathbf{A} + \mathbf{B}) = 465$ нм, $\lambda_{\text{max}2}(\mathbf{A} + \mathbf{B}) = 591$ нм.

При модификации НпОА смесью растворов **А** и **Б**, сформированные пленки обратимо изменяют окраску при переходе из нейтральной газовой фазы (золотистая) в кислую (кирпично-красная), щелочную (голубая), и наоборот, практически мгновенно (2-5 с), при этом окраска (аналитический сигнал) сохраняется до 15 с, что позволяет применить инструментальные способы ее регистрации.

На спектрах поглощения растворов исходных и смешанных индикаторов (рис. 2, б) зафиксировано смещение максимума светопоглощения смешанного раствора в коротковолновую область и отклонение от закона аддитивности: $\lambda_{\text{max}}(\mathbf{A}) = 465$ нм, $\lambda_{\text{max}}(\mathbf{B}) = 430$ нм, $\lambda_{\text{max}}(\mathbf{A} + \mathbf{B}) = 450$ нм. Известно, что в растворителях с умеренной способностью к сольватации ионные пары обоих типов могут сосуществовать в равновесии друг с другом [1]. Кроме того, сольватно разделенные формы могут различаться по своей окраске от контактных ионных пар, что и вызывает небольшое смещение максимумов спектров поглоще-

ния. Чтобы исключить вероятность наложения спектров **А** с **Б** и предположить образование комплекса использовали метод молярных отношений. Для этого фиксировали спектры поглощения раствора при постоянной концентрации одного компонента (**А**) в условиях переменной концентрации второго компонента (**Б**). Из приведенной зависимости (рис. 2, в) изменения оптической плотности растворов от соотношения их концентраций следует, что в исследуемой реакционной системе образуется ионный ассоциат состава 1 : 1 [15]. Аналогичные данные были получены при применении метода изомолярных серий.

Подобных эффектов не наблюдается при использовании в качестве модификаторов других распространенных для импрегнирования в матрицы рН-индикаторов и их смесей (табл. 1).

Чтобы исключить влияние кислотности поверхности матрицы НпОА на интервал перехода окрасок индикаторов, предварительно проводили холостой опыт по модификации фильтровальной бумаги смесью **А** с **Б**, в ходе которого установили аналогичную смену окрасок смеси при переходе из нейтральной среды (желтая) в кислую (насыщенно-розовая), щелочную (голубая) и наоборот. Стоит отметить, что даже на бумаге цвет обратимо изменялся в течение 3-5 экспериментов (далее происходило вымывание реагентов и бумажные тест-полоски теряли чувствительность). Таким образом, положительный эффект достигается не только за счет использования оптимальной смеси рН-индикаторов, но и нанопористой матрицы, позволяющей длительно сохранять модификатор в каналах.

Оптимальная продолжительность экспонирования матрицы в парах не должна превышать 10 с, при увеличении времени контакта ее поверхности с равновесной газовой фазой аналитов, интенсивность окраски снижается вследствие десорбции газа.

3. Качественные и количественные характеристики сформированных тест-полосок

Для визуально-тестового определения общего содержания кислотообразующих газов в воздухе модифицированной матрицей были получены цветовые шкалы. Визуальное тест-определение можно выполнять на качественном уровне только при резкой смене окраски тест-полосок. Полуколичественное определение аналитов модифицированной матрицей НпОА не представляется возможным, т.к. оттенки, насыщенность и интенсивность полосок субъективно фиксируются человеческим глазом.

Для полуколичественной оценки интенсивности окраски модифицированных матриц использовали метод сканер-технологий с последующей цифровой обработкой изображений. Вследствие высокой скорости цветометрической реакции на поверхности модифицированной матрицы НпОА для измерения аналитического сигнала целенаправленно уменьшали время сканирования до 3 с, применяя способ планшетов. При этом время опроса модифицированной матрицы и сохранения сигнала от момента экспонирования в парах аммиака составляет 2-15 с.

Сканер-детектированием исследуемых тест-систем, окрашенных в золотистый тон, установлено, что доминирующим цветом (наиболее ярким каналом) является R (255) и G (255), для полосок, окрашенных в красно-фиолетовый цвет, – R (176), в голубой – B (169).

Полученные с помощью сканера изображения цветовых шкал проанализированы по светлоте (*L*), насыщенности (*S*) и разнооттеночности (*H*) в координатах R, G, B. Установлено, что диапазон зависимостей, построенных по светлоте, коррелирует с линейной зависимостью уменьшения светлоты каналов R, G, B, что позволяет в качестве аналитического сигнала при фиксировании реакции сре-

Таблица 1

Характеристика изменения цвета поверхности матрицы Al_2O_3 после ее модификации рН-индикаторами

Индикаторы	Цвет модифицированной матрицы	
	В парах уксусной кислоты (5 мг/м ³)	В парах аммиака (5 мг/м ³)
Метилоранж (А)	красный	–*
Бромтимоловый синий (Б)	–*	синий
Бромфеноловый синий (В)	–*	синий
Смесь индигокармина (Г) с (А)	зеленый	зеленый
Смесь тимолфталеина (Д) с фенолфталеином (Е)	–*	–*
Смесь Г , А с Д , Е	синий	синий

Примечание: * - изменения цвета тест-полосок при переходе из одной среды в другую не наблюдается.

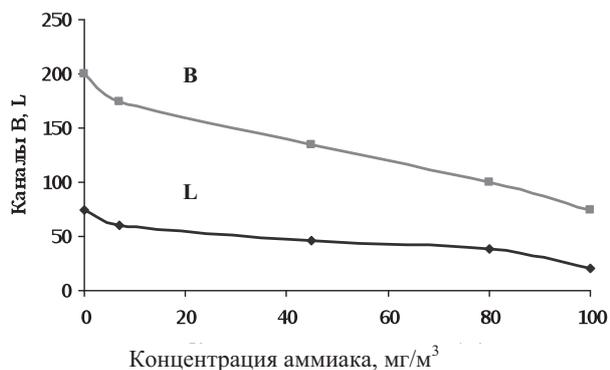


Рис. 3. Зависимости светлоты В и L каналов от концентраций аммиака в модельных газовых средах

ды выбрать светлоту (рис. 3). Градуировочные графики для тест-систем «модифицированная матрица – аналит» описываются уравнениями

для аммиака:
$$L = (69 \pm 3) - (0,50 \pm 0,02) \cdot C_{\text{NH}_3} \quad (r^2 = 0,98),$$

для уксусной кислоты:
$$L = (192 \pm 7) - (1,20 \pm 0,04) \cdot C_{\text{СН}_3\text{СООН}} \quad (r^2 = 0,97),$$

где r^2 – достоверность аппроксимации.

С учетом полученных результатов относительную сорбционную емкость модифицированной матрицы (a , 1/г), соответствующей максимальному количеству аналита, которое может адсорбироваться на пленке с определенной массой, предлагается вычислять по уравнению

$$a = \frac{\Delta L}{\Delta m_{\text{пл}} \cdot 100} \quad (4)$$

где ΔL – изменение светлоты каналов, %; Δm – прирост массы пленки индикаторов после модификации матрицы (оценивали гравиметрически), г; 100 – коэффициент для перевода значений ΔL от процентов к относительным единицам.

Измерение цвета проводили относительно исходного образца – модифицированной матри-

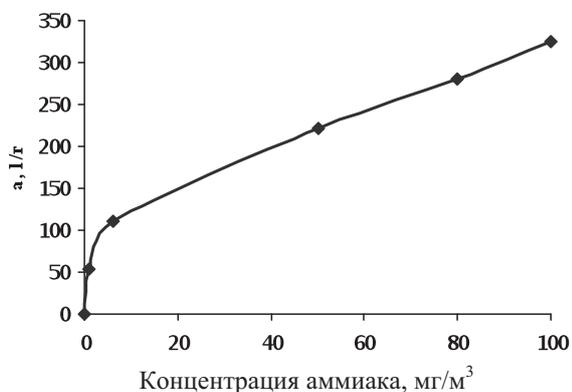


Рис. 4. Изотерма сорбции аммиака на модифицированной смеси А и Б матрицы Al_2O_3

цы при нейтральной реакции среды, и имеющее значение $L = 85 \pm 1 \%$. Цветовое различие двух образцов вычисляли как разницу между значением светлоты исходного образца ($L = 85 \pm 1 \%$) и исследуемого (ΔL).

Для качественной характеристики модифицированной матрицы рассчитывали чувствительность определения аналитов (s , $\text{м}^3/\text{мг}$):

$$s = \frac{\Delta L}{C \cdot 100}, \quad (4)$$

где C – концентрация аналита, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Для системы сорбат-модифицированная матрица Al_2O_3 получена изотерма сорбции аммиака в оптимальных условиях (рис. 4). Изотерма сорбции принадлежит к I-типу, ее начальный участок выгнут относительно оси концентраций, что свидетельствует о достаточно высоком сродстве аналита к пленке модификатора, однако динамические условия определения способствуют быстрой десорбции и восстановлению первоначального золотистого оттенка поверхности матрицы.

Предел обнаружения аммиака и уксусной кислоты тест-полосками соответствует их уровням ПДК_{р.з.} (табл. 2).

Такие свойства тест-системы позволяет на уровнях «да» – «нет» зафиксировать доминирующую концентрацию токсикантов, изменяющих общее содержание кислотообразующих газов в воздухе. Ложный положительный результат (\hat{e}), как правило, гораздо важнее ложного отрицательного (\hat{a}), поскольку необнаружение целевого аналита может повлечь за собой крайне негативные последствия.

Обнаружению аналитов способствует не только специфичность хромогенного реагента, но и их возможное разделение из газовой смеси в каналах матрицы, а высокая воспроизводимость ее структуры обеспечивает возможность серийного изготовления тест-полосок для определения общего содержания кислотообразующих газов и паров во влажном (от 30 до 100 %) воздухе. Сравнительные характеристики тест-полосок на основе НпОА с наиболее близким аналогом силуфольными алюминиевыми пластинами, традиционно применяющихся в аналитической практике, приведены в табл. 3.

Предлагаемые тест-полоски ограничены по объектам детектирования: возможно определение в воздухе газов и паров с rK от 4,74 до 7,2 (в том числе: H_2S , SO_2 , NO_2 и др.). Результаты апробации тест-полосок при анализе нашатырного спирта и паров столового уксуса приведены в табл. 4. Найденные концентрации исследуемых аналитов сопоставимы с результатами их обнаружения газоанализаторами.

Таблица 2

Характеристика тест-полосок на основе НПОА при экспонировании в парах аналитов

Аналит	ПрО, мг/м ³	ПДК _{р,3} , мг/м ³	N _{TP}	N _{FN}	â*	N _{FP}	N _{TN}	ê*	a, 1/г	s, м ³ /мг	R**, %
Аммиак	3	20	8	0	0	2	7	0,3	90	0,06	89
Уксусная кислота	4	5	8	0	0	2	7	0,3	75	0,04	78

Примечания: * - получены при числе опытов $n = 9$ и концентрации аналитов на уровне их ПДК; ** - в обоих случаях $\alpha = 0$ (вероятность ложного заключения об отсутствии аналита), на R-критерий оказывает влияние только параметр β (вероятность ложного заключения о присутствии аналита).

Таблица 3

Сравнительная характеристика предлагаемых тест-полосок на основе НПОА (1) с наиболее близким аналогом – силуфольными пластинами (2)

Способ	Возможности						Хрупкость носителя	Срок службы без испытаний, мес.	Устойчивость к вымыванию индикаторов
	использования в агрессивных средах	регенерации	определения кислотности воды	определения кислотности воздуха	разделения компонентов смеси	градировки			
1	+	+	+ (до 10 раз)	+ (многokратно)	+	+	-	не ограничен	+
2	-	-	нет	нет	+	+	-	9 – 12	-

Таблица 4

Результаты определения паров аммиака в нашатырном спирте и паров уксусной кислоты в столовом уксусе тест-полосками на основе НПОА (1) и газоанализаторами АНТ-3, ГАНК-4 (2); $P = 0,95, n = 6^*$ ($t = 22 \pm 1^\circ\text{C}$)

Объект анализа	Найдено, мг/м ³			
	1		2	
	$x_{cp} \pm \Delta$	S_r	$x_{cp} \pm \Delta$	S_r
Нашатырный спирт (10 %)	$17,9 \pm 1,8$	0,07	$23,9 \pm 2,3$	0,12
Столовый уксус (9 %)	$5,0 \pm 0,1$	0,08	$3,8 \pm 0,07$	0,05

Примечание: * - определяли на расстоянии 5 см от источника.

Заключение

Тест-полоски на основе НПОА характеризуются полной регенерацией, высокой износостойкостью, быстрым временем реакции, отсутствием стадии предварительного концентрирования газовой пробы и могут быть применены для контроля технологических процессов, скрининга состояния пищевых продуктов, а также установления времени начала их порчи.

Аналитические возможности НПОА не ограничиваются экспресс-анализом газовой фазы: модификация НПОА ионогенными ПАВ позволяет сформировать наноконструкты для сорбционного концентрирования и извлечения тяжелых металлов, возможно создание на его основе шаблонных тест-систем для визуального определения, оптических pH-сенсоров, перспективно его использование в тонкослойной хроматографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ведерников А.Н. Кислотность и основность органических соединений в растворах и газовой фазе // Соросовский образовательный журнал, 2000. № 8. С. 49-52.
2. Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. М.: Едиториал УРСС, 2002. 304 с.
3. Золотов Ю.А. Скрининг // Ж. аналит. химии. 2001. Т. 56, № 8. С. 794.
4. Золотов Ю.А. Средства химического анализа: какими они будут? // Ж. аналит. химии. 1997. Т. 52, № 10. С. 1013-1018.
5. Kreisel W. Measurement concepts in environmental control from the view and the task of an "Environmental Protection Agency (EPA)". [Электронный ресурс]: <http://www.epa.com> (дата обращения 12.01.2010)
6. Hexagonal pore arrays with a 50–420 nm inter-pore distance formed by self-organization in anodic

- alumina / A. P. Li [et al.] // J. of appl. physics. 1998. V. 84. P. 6023-6026.
7. Штерн Ю.И. Технологии получения и исследования пористости оксидных пленок на сплавах алюминия // Журнал прикладной химии. 2008. С. 546-550.
8. Masuda H., Fukuda K. Ordered metal nanohole arrays made by a two-step replication of honeycomb structures of anodic alumina // Science. 1995. V. 268. 1995. P. 1466-1468.
9. Спиридонов Б.А., Юрьев В.А., Косилов А.Т. Исследование процесса анодирования при формировании наноструктуры оксида алюминия // Сб. трудов V Международного симпозиума «Прикладная синергетика в нанотехнологиях». Москва, 2008. С. 298-300.
10. Позняк А.А. Формирование модифицированного анодного оксида алюминия для светоизлучающих структур: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Минск, 2002. 18 с.
11. Индикаторы / [Под ред. И.Н. Марова]. М.: Мир, 1976 г. 496 с.
12. Силина Ю.Е. Определение летучих компонентов строительных материалов в воздухе помещений с применением масс-метрических преобразователей: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Саратов, 2005. 21 с.
13. Метрологические характеристики методик обнаружения с бинарным откликом / Ю.В. Холин [и др.]. Харьков: Тимченко, 2008. 128 с.
14. Герасимов А.В., Бурьгина А.С. Численные характеристики окраски плодов паприки в режиме RGB // Химия растительного сырья, 2002. № 2. С. 75-78.
15. Бек М.И. Исследования комплексообразования новейшими методами. М.: Мир, 1989. С. 137-147.

DETERMINATION OF THE GENERAL GAS PHASE ACIDITY BY MEANS OF THE NANOPOROUS ALUMINUM OXIDE TEST-FILMS

¹Silina Y.E., ¹Spiridonov B.A., ¹Gorshunova V.P., ²Kuchmenko T.A

¹Voronezh State Technical University,
Department of Chemistry

394000, Voronezh, Moskovsky prospect, 14

²Voronezh State Technological Academy,
Department of Physical and Analytical Chemistry,
394000, Voronezh, Revolution prospect, 19

The application of nanoporous aluminum oxide as a solid carrier of thin film pH-indicators as the basis for air test-analysis is analyzed. The effect of nanoporous Al₂O₃ matrix synthesis conditions on its functional properties is discussed; chromogenic reagents for the matrix modification are selected; the quality and quantitative characteristics of generated test films are evaluated.

Keywords: chromogenic reagents, nanoporous oxide of aluminum, anodizing, ammonia, acetic acid vapors, colorimetry, scanner-technology, test film.