

2. Roik N.V., Belyakova L.A., Varvarin A.M. // Functional Mater. -2006. -13, № 3. -P. 54—65.
3. Vansant E.F., Van Der Voort P., Vrancken K.C. Characterization and chemical modification of the silica surface. -Amsterdam: Elsevier, 1995.
4. Бабко А.К., П'ятницький І.В. Кількісний аналіз. -Київ: Вищ. шк., 1974.
5. Belyakova L.A., Varvarin A.M., Lyashenko D.Yu., Khora O.V. // Adsorption Sci. and Technol. -2005. -23, № 9. -P. 703—719.
6. Roik H.B. Дис. ... канд. хім. наук. -Київ, 2006.
7. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. -М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
8. Белякова Л.А., Тертых В.А., Бортунов А.И. // Хим. технология. -1987. -№ 2. -С. 3—10.
9. Темникова Т.И. Курс теоретических основ органической химии. -Л.: Химия, 1968.
10. Пилоян Г.О. Введение в теорию термического анализа. -М.: Наука, 1964.
11. Салдадзе К.М., Панков А.Б., Тумов В.С. Ионобменные высокомолекулярные соединения. -М.: Госхимиздат, 1960.
12. Roik N.V., Belyakova L.A. // Russian J. Phys. Chem. -2006. -80, № 7. -P. 1105—1110.

Институт химии поверхности НАН Украины, Киев

Поступила 26.09.2006

УДК 541.124 : 541.128

**А.И. Трипольский, П.Е. Стрижак**

## **ВЛИЯНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ НАНЕСЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА КИНЕТИКУ РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ СО**

Изучено влияние морфологии нанесенных катализаторов на кинетические параметры гетерогенно-каталитического процесса. Установлена взаимосвязь предэкспоненциального множителя константы скорости лимитирующей стадии реакции и фрактальной размерности распределения активного компонента на поверхности носителя. Полученные закономерности проиллюстрированы на примере гетерогенно-каталитического гидрирования монооксида углерода на нанесенных переходных металлах.

Основная характеристика катализатора — удельная каталитическая активность — зависит от химического состава катализатора и его морфологии. Структура поверхности катализаторов достаточно сложна для моделирования ее в рамках простой евклидовой геометрии. В последнее время такие сложные геометрические структуры, какими являются гетерогенные катализаторы, удается достаточно эффективно описать с применением фрактальной геометрии [1, 2]. При этом показано, что скорость химической реакции  $W$  линейно зависит от размера реагента  $R$ :  $W = kR^{D_f-3}$  [1]. В этом уравнении  $D_f$  — фрактальная размерность катализатора при протекании процесса в кинетической области. Влияние фрактальной размерности катализатора на кинетику реакции, осложненной процессами массопереноса внутри зерна, рассмотрено в работе [3].

Для создания максимальной реакционной поверхности каталитически активные компоненты наносят на “инертный” носитель. В этом случае, если процесс не осложнен диффузией реагентов, структура поверхности носителя не должна оказывать заметного воздействия на скорость реак-

ции. Влияние активного компонента на скорость каталитического процесса будет определяться его химической природой и размером его частиц. В зависимости от дисперсного состояния активного компонента может изменяться реакционная способность его поверхностных атомов [4].

Настоящая работа посвящена описанию теоретического подхода, позволяющего учесть влияние морфологии катализатора, выраженной количественно с помощью фрактальной размерности  $D_f$ , на некоторые кинетические параметры процесса. Справедливость полученных теоретических зависимостей иллюстрируется на примере кинетики гетерогенно-каталитической реакции гидрирования монооксида углерода в присутствии кобальта и никеля, нанесенных на различные носители.

Кинетические измерения проводили при атмосферном давлении проточно-циркуляционным методом, подробно описанном в работах [5, 6]. Для всех исследованных катализаторов по температурной зависимости скорости реакции были определены эффективные энергии активации. Величины удельной поверхности металла были расчи-

© А.И. Трипольский, П.Е. Стрижак, 2007

таны по хемосорбции кислорода в импульсном хроматографическом режиме, средний размер частиц металла — по адсорбционным данным исходя из предположения, что они представляют собой кубики, одна грань которых экранирована носителем. Значения некоторых кинетических и физико-химических параметров нанесенных катализаторов приведены в таблице.

**Удельная каталитическая активность ( $W$ ) и средний размер ( $d$ ) частиц металлов Co и Ni, нанесенных на различные носители при составе реакционной смеси:  $P_{CO}=20$ ,  $P_{H_2}=50$  кПа**

№ п/п	Катализатор	$E_e$ , кДж/моль	$W \cdot 10^7$ , моль/м <sup>2</sup> ·с	$d$ , нм
Кобальт				
1	BeO	87	5.5	18
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	74	4.3	6
3	SiO <sub>2</sub>	114	52.0	38
4	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58	5.3	15
5	ZrO <sub>2</sub>	98	8.4	33
6	MgO	24	1.0	3
Никель				
1	BeO	83	27	21
2	SiO <sub>2</sub>	91	3.2	6
3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	84	1.9	12
4	ZrO <sub>2</sub>	73	262	97
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	78	11.4	2.4

При измерении активности катализаторов скорость процесса относят к единице активной поверхности контакта, которую вычисляют по данным хемосорбции различных веществ (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO и т.п.), выполняющих роль “щупа” поверхности. Найденная таким образом величина  $S_0$  является поверхностью, измеренной “щупом” с линейным размером  $r_0$  ( $r_0$  — размер адсорбционного комплекса “щупа”). В свою очередь скорость каталитической реакции линейно зависит от числа активных центров с линейным размером  $R$ . Если поверхность активного компонента характеризуется фрактальностью, площадь его поверхности должна зависеть от линейного размера  $r$  щупа, которым измерялась поверхность. Согласно определению фрактальной размерности, для величины поверхности активного компонента должно выполняться следующее соотношение [7]:

$$S(r) = S_0(r/r_0)^{2-D_f}, \quad (1)$$

где  $D_f$  — фрактальная размерность, которая в

данном случае определяет чувствительность поверхностного процесса к изменению размера частиц активного компонента. Для фракталов понятие “площадь поверхности” неоднозначно и зависит от методики измерения. Уравнение (1) устанавливает количественную зависимость величины удельной поверхности, обладающей фрактальными свойствами, от размера молекул используемых адсорбированных газов.

Реальное высокодисперсное твердое вещество состоит из частиц, размеры которых отвечают некоторому диапазону значений, то есть характеризуются определенным распределением частиц по размерам. Следовательно, удельная поверхность системы, состоящей из частиц подобной формы, равна сумме поверхности всех частиц, что в пределе выражается уравнением:

$$S = f \int_{r_1}^{r_2} \varphi(r) r^2 dr, \quad (2)$$

где  $f$  — коэффициент, зависящий от формы частиц и их числа, отнесенного к единице массы активного компонента;  $\varphi(r)$  — функция плотности распределения частиц по размерам;  $r_1$  и  $r_2$  — минимальный и максимальный линейные размеры частиц. Функция плотности распределения  $\varphi(r)$  в указанных пределах нормирована на единицу:

$$\int_{r_1}^{r_2} \varphi(r) dr = 1. \quad (3)$$

Обычно в реальных нанесенных катализаторах распределение высокодисперсного компонента не подчиняется нормальному распределению [8, 9]. Плотность функции распределения, как правило, сильно асимметрична, и наиболее вероятное значение  $r_m$  близко к  $r_1$  (рис. 1). Учитывая приближенный характер фрактальной модели структуры и распределения активного компонента нанесенного катализатора, можно принять следующую функцию плотности распределения [7, 9]:

$$\varphi(r) = \alpha r^{-1-D_f}. \quad (4)$$

Исходя из того, что  $r_1, r_m \ll r_2$ , верхний предел интегрирования  $r_2$  в уравнениях (2) и (3) можно заменить на бесконечность. Тогда поверхность всех частиц размером больше  $r$  равна:

$$S = f\alpha \int_r^{\infty} r^{-1-D_f} \cdot r^2 dr = \frac{f\alpha}{(D_f-2)} \cdot r^{2-D_f}. \quad (5)$$

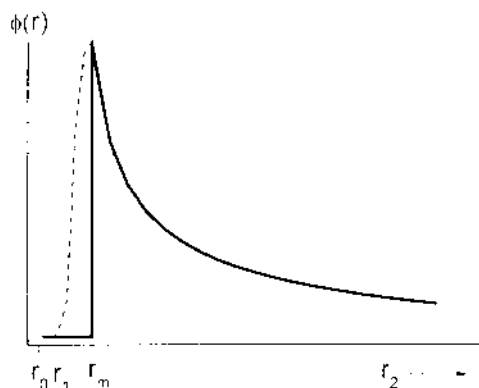


Рис. 1. График функции плотности распределения частиц согласно уравнению (4). Пунктиром обозначена неучтенная область реального распределения частиц.

С учетом сделанных допущений равенство уравнений (1) и (5) дает:

$$f\alpha = (D_f - 2)S_0 r_0^{D_f - 2} \quad (6)$$

С другой стороны, из уравнений (3) и (4) следует, что

$$\alpha = D_f r_m^{D_f}. \quad (7)$$

Тогда для коэффициента  $f$  получаем следующее выражение:

$$f = \left(1 - \frac{2}{D_f}\right) \frac{S_0}{r_0^2} \cdot \left(\frac{r_0}{r_m}\right)^{D_f}. \quad (8)$$

Средний линейный размер частиц можем найти как математическое ожидание, определяемое выражением:

$$\langle r \rangle = \int_{r_0}^{\infty} r \varphi(r) dr = \frac{\alpha r_m^{1-D_f}}{(D_f - 1)} = \frac{D_f}{D_f - 1} r_m. \quad (9)$$

Полученное соотношение связывает фрактальную размерность  $D_f$ , дисперсность частиц  $\langle r \rangle$  и значение  $r_m$ . Тогда выражение для фрактальной размерности примет вид:

$$D_f = \frac{\langle r \rangle}{\langle r \rangle - r_m} = \frac{1}{1 - r_m / \langle r \rangle}. \quad (10)$$

Поскольку фрактальная размерность изменяется в пределах  $2 \leq D_f \leq 3$ , интервал изменения среднего размера частиц для различных нанесенных катализаторов определяется следующим выражением:  $1.5r_m \leq \langle r \rangle \leq 2r_m$ . Естественно, параметр  $r_m$  для различных систем не является фиксированной величиной и зависит от способа приготовления катализатора.

На практике средний размер частиц  $\langle r \rangle$  определяют на основании измеренной с помощью специфической хемосорбции величины удельной поверхности катализатора  $S_0$ . Обозначим такой средний размер частиц как  $d$ . При вычислении этой величины частицы представляют чаще всего в виде кубиков или сфер. Тогда  $d$  является либо ребром куба, либо диаметром сферы и рассчитывается по следующей формуле:

$$d = \frac{\beta}{S_0 \cdot \rho}, \quad (11)$$

где  $\rho$  — плотность частицы;  $S_0$  — площадь поверхности активного компонента;  $\beta$  — коэффициент пересчета, учитывающий форму модели частиц (для кубической формы  $\beta=5$ , для шара  $\beta=3$ ). Если поверхность дисперсного вещества катализатора обладает фрактальными свойствами, средний размер частиц  $\langle r \rangle$ , согласно уравнениям (11) и (5)–(8), можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned} \langle r \rangle &= \frac{\beta}{S \cdot \rho} = \frac{\beta(D_f - 2)}{\rho f \alpha} r_m^{D_f - 2} = \\ &= \left(\frac{r_m}{r_0}\right)^{D_f - 2} \cdot \frac{\beta}{S_0 \cdot \rho} = d \left(\frac{r_m}{r_0}\right)^{D_f - 2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Это уравнение связывает истинный средний размер частиц активного компонента нанесенного катализатора  $\langle r \rangle$  с величиной  $d$ , полученной из опытных данных по хемосорбции. С ростом размера “щупа” ( $r_0$ ) средний размер частиц закономерно уменьшается тем сильнее, чем больше фрактальная размерность  $D_f$ . С учетом полученного, уравнение (10) примет следующий вид:

$$D_f = \frac{1}{1 - r_m / \langle r \rangle} = \frac{1}{1 - r_0^{D_f - 2} / (r_m^{D_f - 3} d)}. \quad (13)$$

Для установления количественной взаимосвязи между дисперсностью активного компонента и скоростью гетерогенно-каталитического процесса рассмотрим взаимосвязь фрактальной размерности поверхности катализатора с кинетикой гетерогенно-каталитической реакции. Константа скорости реакции определяется Аррениусовской зависимостью:

$$k = k_0 e^{-E/RT}, \quad (14)$$

где  $k_0$  — предэкспоненциальный множитель;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $T$  — температура.

Согласно методу переходного состояния при-

менительно к поверхностным реакциям, предэкспоненциальный множитель константы скорости определяется выражением:

$$k_0 = \chi GL \frac{kT e^{\Delta S^*/R}}{h}, \quad (15)$$

где  $\chi$  — трансмиссионный коэффициент;  $L$  — число элементарных площадок на единице поверхности катализатора;  $G$  — число возможных положений активированного комплекса;  $kT$  — произведение постоянной Больцмана на температуру;  $h$  — постоянная Планка;  $S^*$  — энтропия активации соответственно.

В ряду нанесенных катализаторов различной химической природы для одной и той же реакции энтропия активации  $\Delta S^*$  приблизительно постоянна [10], что связано со сходством строения активированного комплекса. Следовательно, различия в величинах предэкспоненциального множителя для различных катализаторов должны быть связаны с геометрическим фактором. На более крупных частичках активного компонента вероятность существования сложных активных центров выше, чем на мелких. Тогда величина  $L$  в уравнении (15) должна зависеть от распределения частиц по размерам и, следовательно, от фрактальной размерности  $D_f$ .

Величина предэкспоненциального множителя константы скорости была бы постоянной величиной для однотипных катализаторов только в том случае, если бы в качестве “щупа” для измерения поверхности использовали один и тот же активированный комплекс. Обозначим такой предэкспоненциальный множитель  $k_{0R}$ . Тогда с учетом уравнения (1) получим:

$$k_{0R} = k_0 \frac{S_0}{S} = k_0 \left( \frac{r_0}{R} \right)^{2-D_f}, \quad (16)$$

где  $R$  — линейный размер активированного комплекса. Уравнение (16) можно представить следующим образом:

$$\ln k_0 = \ln k_{0R} + (D_f - 2) \ln(r_0/R). \quad (17)$$

Из этого уравнения следует, что логарифм предэкспоненциального множителя линейно уменьшается (поскольку  $r_0 < R$ ) с ростом фрактальной размерности поверхности активного компонента. Уравнения (10) и (17) можно записать так:

$$\ln k_0 = A - BD_f = A - \frac{B}{1 - r_0^{D_f-2}/(r_m^{D_f-3} d)}, \quad (18)$$

где  $A = \ln k_{0R} + 2 \ln(R/r_0)$ ,  $B = \ln(R/r_0)$ .

Уравнение (18) характеризует зависимость ло-

гарифма предэкспоненциального множителя от дисперсности частиц активного компонента. С ростом дисперсности  $d$  логарифм предэкспоненциального множителя должен увеличиваться и графически выражаться кривой с насыщением.

Проанализируем полученные зависимости на примере реакции гидрирования монооксида углерода [5, 6]. Стадийный механизм этого процесса обоснован с помощью детального исследования его кинетики и адсорбционных данных:

- 1)  $\text{CO} + \text{Z} = \text{ZCO}$ ,
- 2)  $\text{H}_2 + 2\text{Z} = 2\text{ZH}$ ,
- 3)  $\text{ZCO} + \text{ZH} = \text{ZCON} + \text{Z}$ ,
- 4)  $\text{ZCON} + \text{ZH} \rightarrow \text{ZX}_0 + \text{Z}$ ,
- 5)  $\text{ZX}_0 + \text{ZH} \rightarrow \text{ZX}_0' \xrightarrow{\text{ZH}} \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{Z}$ ,
- 6)  $\text{ZX}_0 + \text{ZX}_0 \rightarrow \text{ZX}_1 \xrightarrow{\text{ZH}} \text{C}_2\text{H}_6 + \dots + \text{Z}$ .

В стадиях 1—3 устанавливается адсорбционное равновесие, лимитирующим этапом является поверхностная реакция между ZCON и ZH (стадия 4). Приведенному механизму соответствует уравнение кинетики суммарного превращения CO:

$$W = k_4 \frac{K_3 b_{\text{CO}} P_{\text{CO}} b_{\text{H}_2} P_{\text{H}_2}}{[1 + b_{\text{CO}} P_{\text{CO}} + \sqrt{b_{\text{H}_2} P_{\text{H}_2}} + (1 + K_3 b_{\text{CO}} P_{\text{CO}})]^2}, \quad (19)$$

где  $k_4$  — константа скорости лимитирующей стадии;  $K_3$  — константа равновесия третьей стадии;  $b_i$  — адсорбционные коэффициенты.

В таблице приведены величины удельной скорости реакции на Co и Ni на различных носителях при одинаковом составе реакционной смеси. В этом случае удельная скорость пропорциональна эффективной константе скорости, которая, в свою очередь, является произведением константы скорости лимитирующей стадии и констант равновесия быстрых обратимых стадий процесса. Учитывая уравнение (19), запишем уравнение для скорости каталитической реакции:

$$W \approx k_e = k_e^0 \exp(E_e/RT) \approx k_4 K_3 b_{\text{CO}} b_{\text{H}_2}, \quad (20)$$

где  $k_e$  — эффективная константа скорости;  $E_e$  — эффективная энергия активации, включающая энергию активации лимитирующей стадии 4, энтальпию третьей стадии и теплоты адсорбции исходных веществ.

С другой стороны, можно записать, что

$$W_0 \approx k_e^0 = k_4^0 K_3^0 b_{\text{CO}}^0 b_{\text{H}_2}^0 = k_4^0 e^{-(\Delta S_4 + \Delta S_{\text{CO}} + \Delta S_{\text{H}_2})/R}, \quad (21)$$

где  $\Delta S_i$  — изменения энтропии стадий 1—3.

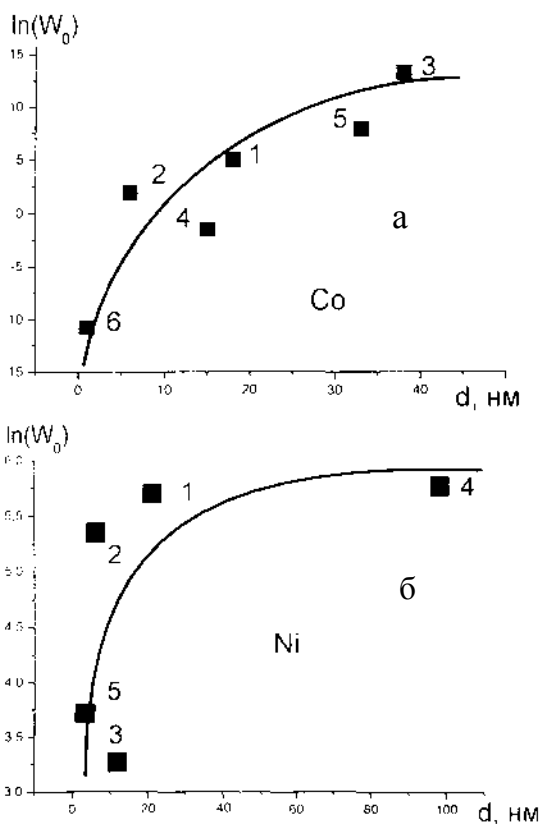


Рис. 2. Зависимость  $\ln W_0$  от среднего размера  $d$  частиц кобальта (а) и никеля (б). Цифры на графике соответствуют порядковым номерам катализаторов в таблице.

Принятое нами выше допущение о постоянстве энтропии активации активированного комплекса для одной и той же реакции на различных катализаторах [10] в полной мере относится и к изменениям энтропии стадий 1–3. В таком случае в уравнении (18) правомерно заменить предэкспоненциальный множитель константы скорости  $k_0$  на  $W_0$ . Таким образом получаем, что

$$\ln W_0 = A - \frac{B}{1 - r_0^{D_f-2}/(r_m^{D_f-3} d)}. \quad (22)$$

На рис. 2 приведены зависимости логарифма  $W_0$  от среднего размера частиц  $d$  кобальта и никеля, нанесенных на различные носители в реакции гидрирования CO. Из рисунков следует, что уравнение (22) адекватно описывает полученные экспериментальные данные для кобальтовых и никелевых катализаторов в реакции гидрирования монооксида углерода. Этот факт указывает на фрактальную природу распределения активного компонента на поверхности носителя. Кроме того, наличие такой зависимости для различ-

ных металлов указывает на то, что реакция гидрирования монооксида углерода протекает через одинаковый для всех активированный комплекс, характеризующийся одним и тем же размером. Это подтверждает правильность предложенного ранее механизма процесса и соответствующей кинетической модели.

Таким образом, использование фрактальной геометрии для описания структуры нанесенных катализаторов позволяет интерпретировать и количественно описывать часто наблюдающиеся зависимости каталитической активности контактов от геометрии активной поверхности. Применение полученных зависимостей для анализа кинетических параметров так называемых “структурно-чувствительных” реакций раскрывает новые возможности для технологического дизайна оптимальных катализаторов различных промышленно важных гетерогенно-каталитических процессов, в частности процессов получения синтетического жидкого топлива из синтез-газа.

**РЕЗЮМЕ.** Вивчено вплив морфології нанесених катализаторів на кінетичні параметри гетерогенно-каталітичного процесу. Встановлено взаємозв'язок предекспоненціального множника константи швидкості лімітуючої стадії реакції та фрактальної розмірності розподілу активного компоненту на поверхні носія. Отримані закономірності проілюстровані на прикладі гетерогенно-каталітичного гідрювання монооксида вуглецю на нанесених перехідних металах.

**SUMMARY.** The influence of morphology of the supported catalysts on some kinetic parameters of heterogeneous catalytic process was studied. The interconnection of the pre-exponential coefficient of rate constant limiting of the stage of reaction and the fractal dimension of distribution active component on the surface of support was established. The behavior was illustrated on the example of heterogeneous catalytic hydrogenation of the carbon monoxide on the supported transition metal was obtained.

1. Avnir D., Carberry J.J., Citri O. et al. // *Chaos*. -1991. -1, № 4. -P. 397—410.
2. Rothschild W.G. *Fractals in Chemistry*. -New York: John Willey & Sons, 1998.
3. Стрижак П.Е. // *Теорет. и эксперим. химия*. -2004. -40, № 4. -С. 199—203
4. Слинкин А.А. // *Структура и каталитические свойства нанесенных металлов. Итоги науки и техники. Кинетика и катализ*. -М.: ВИНТИ, 1982. -Т. 10. -С. 5—115.
5. Павленко Н.В., Прохоренко Е.В., Трипольский А.И., Голодец Г.И. // *Кинетика и катализ*. -1989. -6, № 30. -С. 698—706.
6. Павленко Н.В., Голодец Г.И., Тельбиз Г.М. // *Нефте-*

- переработка и нефтехимия. -1990. -№ 39. -С. 12—31.
7. Неймарк А.В. // Журн. физ. химии. -1990. -64, № 10. -С. 2593—2605.
8. Андерсон Дж. // Структура металлических катализаторов. -М.: Мир, 1978.

9. Brilliantov N.V., Andrienko Yu.A., Krapivsky P.L. // Physica A. -1997. -№ 239. -С. 267—275.
10. Голодец Г.И. // Гетерогенно-каталитические реакции с участием молекулярного кислорода. -Киев.: Наук. думка, 1977.

Институт физической химии им. Л.В. Писаржевского  
НАН Украины, Киев

Поступила 01.03.2007

УДК 543.272.2

## І.П. Матушко, Н.П. Максимович, А.В. Яцимирський, Н.В. Нікітіна, О.П. Ріпко, Н.М. Деркаченко АДСОРБЦІЙНО-НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ СЕНСОР НА ОСНОВІ SnO<sub>2</sub> З ДОМІШКАМИ Pd ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ H<sub>2</sub>

Створено високочутливий до водню легований Sb та Pd адсорбційно-напівпровідниковий сенсор на основі SnO<sub>2</sub> та вивчено його властивості. Для забезпечення селективності визначення водню досліджено роботу сенсора як чутливого елемента детектора хроматографа.

У наш час водень розглядається як перспективне екологічно чисте для довілля паливо, що може бути отримане з різних поновлювальних джерел. Для визначення водню у повітрі створюються різноманітні газоаналітичні прилади на основі високочутливих сенсорів [1]. Існуючі хімічні сенсори на водень [2, 3] мають проблеми при вимірюванні малих концентрацій H<sub>2</sub>. Крім того, ускладнено селективне визначення водню у присутності інших газів [4], а також можлива втрата активності сенсора за рахунок забруднення його поверхні сорбованими газами [5]. Адсорбційно-напівпровідникові сенсори газів мають переваги перед іншими сенсорами (високі чутливість та швидкодія, можливість роботи в широкому діапазоні температур оточуючого середовища, малі маса та габарити), але їх недоліком є відсутність селективності щодо вимірювання певних газів.

Метою даної роботи було створення високочутливого сенсора на водень та дослідження можливості його використання як хроматографічного детектора для забезпечення селективності вимірювання H<sub>2</sub>. Сполучення сенсора з хроматографічним розділенням проби газу дозволяє, крім того, уникнути потрапляння на сенсор газів, які мають негативний вплив на властивості його поверхневого шару.

Газочутливі матеріали сенсорів одержували методом співсаджень гідроксидів із підкислених розчинів хлоридів Sn та Sb з наступним їх відмиванням, висушуванням та термічним розкладом при високій температурі. Отриманий газочутливий ма-

теріал сенсорів просочували розчинами PdCl<sub>2</sub> різних концентрацій — (0.05—3.2)·10<sup>-2</sup> М.

Чутливість сенсорів обчислювали за співвідношенням  $R_0/R_T$ , де  $R_0$  — опір сенсора у повітрі, а  $R_T$  — у повітряно-водневій газовій суміші. Для одержання мікроконцентрацій водню використовували генератор нульового газу (Parker Balston Zero Air Generator). Роботу сенсора як детектора моделювали із залученням хроматографа GC-14 (SHIMADZU).

Принцип роботи сенсора базується на зміні його електричного опору під впливом газу, що аналізується. Сенсори працюють в атмосфері повітря і мають у своєму робочому режимі достатньо високу температуру (300—500 °С) [6], що забезпечує хемосорбцію кисню з повітря на їхній поверхні. У присутності газу-відновника в поверхневому шарі сенсора перебігають реакції відновлення, швидкість яких визначає величину чутливості сенсора [7, 8].

Для збільшення чутливості сенсора до водню у його склад вводили катализатор — паладій. Введення паладію значно зменшує електричний опір (від десятків МОм до десятків КОм) сенсора, виготовленого з матеріалу стандартної "матриці" SnO<sub>2</sub>+0.15 % мас. Sb (температура спікання 700 °С) [9]. Малий електричний опір сенсорів перешкоджає їх високій чутливості. В той же час занадто високий опір сенсорів не дозволяє створювати на їх основі відповідні газоаналітичні прилади, тому що сигнал таких сенсорів знаходиться на рівні власних шумів електричної схеми приладу.

З метою створення оптимального (за величиною

© І.П. Матушко, Н.П. Максимович, А.В. Яцимирський, Н.В. Нікітіна, О.П. Ріпко, Н.М. Деркаченко, 2007