

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ХЛОРИДА ТЕТРААММИНПЛАТИНЫ(II) И ГЕПТАМОЛИБДАТА АММОНИЯ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

© 2020 г. Е. В. Фесик^{a,*}, Т. М. Буслаева^a, Т. И. Мельникова^b, Л. С. Тарасова^c

^a МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова), пр. Вернадского 86, Москва, 119571 Россия

^b Некоммерческое партнерство «Содействие химическому и экологическому образованию», Москва, 101848 Россия

^c Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, 660036 Россия

*e-mail: 1707-fesik@mail.ru

Поступило в Редакцию 15 февраля 2020 г.

После доработки 15 февраля 2020 г.

Принято к печати 27 февраля 2020 г.

Методами термического анализа и масс-спектрометрии изучено взаимодействие $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ и $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ в атмосфере аргона в температурном интервале 50–500°C в твердой фазе. Методами рентгенофазового анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, элементного анализа установлено, что продукт реакции состоит из упорядоченной фазы Pt_3Mo с незначительным количеством оксида молибдена(VI). Взаимодействие соединений-предшественников в твердой фазе в рассматриваемых условиях сопровождается восстановлением металлов, которое индуцируется ионами Pt^{2+} в присутствии аммиака.

Ключевые слова: платина, молибден, термический анализ

DOI: 10.31857/S0044460X20060133

Получению материалов с новыми физическими, химическими и функциональными свойствами, основанному на взаимодействии двух и более компонентов в твердой фазе, уделяется большое внимание [1–11], при этом обсуждаются преимущественно химические методы синтеза порошков различного состава. Материалы на основе системы платина–молибден [4–11] находят применение в качестве нанесенных катализаторов при окислении [4] и гидрировании CO [5], дегидрировании углеводородов [6, 7], электроокислении метанола в щелочном электролите [8, 9], при риформинге [10] и каталитическом крекинге [11].

К распространенным способам получения биметаллических порошков платина–молибден относится термическое разложение их соединений и/или смесей соединений после совместной или последовательной пропитки соответствующего пористого носителя (углеродного, оксидного, кера-

мического и т. д.), сушки и прокаливания в восстановительной атмосфере [4–11]. В качестве соединений для получения системы платина–молибден обычно используют $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MoO}_2(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$.

При взаимодействии хлорида тетраамминплатины(II) с хроматом и дихроматом аммония в твердой фазе в инертной атмосфере в интервале температур от 50 до 500°C образуются металлический твердый раствор $\text{Pt}_{1-x}\text{Cr}_x$ [a 3.9271(6) Å] и упорядоченная фаза Pt_xCr_y , соответственно [12]. В случае перрената аммония восстановления рения до металлического состояния в тех же условиях не происходит, а образуется смесь Pt и ReO_2 [13]. Эти результаты хорошо согласуются с данными по получению частиц биметаллических сплавов CuPt , NiPt , CoPt и др. при введении смеси солей металлов в раствор октадециламина при 180°C [3].

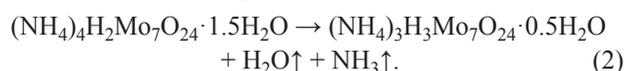
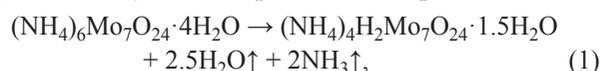
Таблица 1. Данные термического и масс-спектрометрического анализа смеси $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2-(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ и предполагаемые брутто-составы промежуточных твердых продуктов взаимодействия

| № стадии | T, °C | Температура эффекта, °C | | Δm , % | | m (соединение) | Соединение | |
|----------|---------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------|---|--|--|
| | | ДТГ | ДСК | эксперимент | расчет | | газовая фаза | твердая фаза |
| 1 | 50–200 | 92.4 | 95.5 | 1.3 | 1.35 | 17 (NH ₃) 18 (H ₂ O) | 2NH ₃ 2H ₂ O | Pt ₁₂ Mo ₇ O ₂₂ Cl ₂₄ N ₅₂ H ₁₅₈ |
| 2 | 200–300 | 229.2 262.5 277.3 | 228.8 265.2 278.3 | 11.2 | 11.20 | 17 (NH ₃) 18 (H ₂ O) | 32NH ₃ 2H ₂ O | Pt ₁₂ Mo ₇ O ₂₀ Cl ₂₄ N ₂₀ H ₅₈ |
| 3 | 300–350 | $\Sigma \Delta m_{1-2}$ | | 12.5 | 12.55 | 17 (NH ₃) 18 (H ₂ O) 35 (Cl) 28 (N ₂) | 9NH ₃ 5H ₂ O 20Cl 3N ₂ | Pt ₁₂ Mo ₇ O ₁₅ Cl ₄ N ₅ H ₂₁ |
| | | 335.8 | 337.9 | 20.2 | 20.00 | | | |
| 4 | 350–500 | $\Sigma \Delta m_{2-3}$ | | 32.7 | 32.55 | 17 (NH ₃) 18 (H ₂ O) 35 (Cl) 28(N ₂) | 3NH ₃ 6H ₂ O 4Cl N ₂ | Pt ₁₂ Mo ₇ O ₉ |
| | | 364.3 | 356.2 366.9 500.0 | 6.6 | 6.36 | | | |
| | | $\Sigma \Delta m_{3-4}$ | | 39.3 | 38.9 | | | |
| | | m твердого остатка | | 60.7 | 61.10 | | | |

Нами выявлены возможности и особенности взаимодействия хлорида тетраамминплатины(II) и гептамолибдата аммония при получении биметаллических дисперсных порошков платина–молибден в твердой фазе в атмосфере аргона в интервале температур от 50 до 500°C.

Согласно данным термогравиметрического анализа, взаимодействие протекает в пять стадий, сопровождающихся шестью эндоэффектами. В низкотемпературной области наблюдается эндотермический эффект с максимумом при 95.5°C, сопровождающийся незначительной потерей массы (1.3%, $\Delta m_{\text{теор}} = 1.35\%$). Она соответствует удалению 2H₂O и 2NH₃, присутствие которых в газовой фазе при вышеуказанной температуре подтверждается данными масс-спектрометрии. В температурном интервале 200–300°C на кривой ДСК наблюдается широкий сдвоенный эндоэффект при 265.2 и 278.3°C, обусловленный, скорее всего, разложением комплекса $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$, сопровождающимся удалением двух молекул аммиака и образованием *транс*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ [17]. Левая ветвь этого эффекта несимметрична, что, по-видимому, может

указывать на одновременное протекание дегидратации и деструкции $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ [уравнения (1), (2)] с максимумом на кривой ДСК при 228°C.



В газовой фазе фиксируются NH₃ (*m/z* 17) и H₂O (*m/z* 18) с максимумом выделения при 265.6 и 276.9°C, а также и NO (*m/z* 30) с максимумом выделения при 265°C, образующийся за счет окисления аммиака. На кривой ТГ в интервале температур 200–290°C отмечается существенная потеря массы (11.2%, $\Delta m_{\text{теор}} = 11.2\%$), соответствующая удалению 32NH₃ и 2H₂O (табл. 1). Общая потеря массы на первой и второй стадии составляет 12.5% ($\Delta m_{\text{теор}} = 12.55\%$) и сопровождается поглощением тепла ($\Delta H = 333.5 \pm 6$ Дж/г).

В промежуточном соединении, полученном при 278°C, методом РФА определены две фазы: *транс*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ и кубический твердый раствор на основе платины Pt_{1-x}Mo_x [пространственная группа

$Fm-3m$, $a = 3.935(7) \text{ \AA}$ ¹. Образование последнего, как в системах хлорида тетраамминплатины(II) с хроматом, дихроматом и перренатом аммония [12, 13], вероятно, обусловлено восстановлением иона $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ до металлического состояния в присутствии Pt^{2+} и аммиака.

В интервале температур 300–350°C на кривой ДСК наблюдается интенсивный эндотермический эффект с максимумом при 337.9°C. Интенсивная деструкция компонентов реакционной смеси сопровождается, по сравнению с предыдущими стадиями, вдвое большей потерей массы (20.2%, $\Delta m_{\text{теор}} = 20.0\%$), соответствующей удалению 20Cl, 5H₂O, 9NH₃ и 3N₂ (табл. 1). По данным РФА, продукты термолитиза при 340 и 367°C представлены кубическими твердыми растворами на основе платины $\text{Pt}_{1-x}\text{Mo}_x$ [пространственная группа $Fm-3m$, $a = 3.930(5)$ и $3.930(2) \text{ \AA}$] и незначительным количеством оксидов молибдена.

Заключительный этап разложения смеси в диапазоне 350–500°C описывается на кривой ДСК двумя слабо разделенными эндоэффектами при 356 и 366.9°C. В газовой фазе присутствуют атомарный Cl, NH₃, H₂O и N₂, что указывает на продолжение восстановления с образованием металлических фаз. Важно отметить, что при 338 и 365°C, помимо молекулярного азота (m/z 28), в масс-спектрах газовой фазы наблюдается сигнал атомарного хлора (m/z 35). Его присутствие в газовой фазе, вероятнее всего, указывает не только на полную деструкцию $\text{trans}[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$, но и на возможный вклад хлорид-иона как восстановителя. Потеря массы (6.6% от исходной, $\Delta m_{\text{теор}} = 6.36\%$) соответствует удалению 4Cl, 3NH₃, 6H₂O и N₂. Суммарный тепловой эффект $\Delta H = 325 \pm 3 \text{ Дж/г}$ (для $T_3 = 337.9$, $T_4 = 356.2$, $T_5 = 366.9^\circ\text{C}$). Формирование конечного твердого продукта завершается при 400°C, и масса твердого остатка в интервале 400–500°C практически не изменяется. Общая потеря массы равна 39.3% ($\Delta m_{\text{теор}} = 38.9\%$), масса твердого остатка – 60.7% ($\Delta m_{\text{теор}} = 61.09\%$), а доля металлов в смеси – 55.2%. Масса твердого остатка, вычисленная в расчете на 12Pt и 7MoO₃, составляет 64.7%, в расчете на 12Pt, 4Mo и 3MoO₃ – 61.1%. Последнее значение, по нашему мнению, выглядит более убедительным (табл. 1). Незначительное

Таблица 2. Зарядовое состояние, доля вещества на поверхности образца и энергия связи

| Состояние | Пик | $E_{\text{св}}$, эВ | Количество вещества, ат% |
|---|---------------------|----------------------|--------------------------|
| Pt ⁰ | Pt4f _{7/2} | 71.7 | 8.70 |
| Pt(OH) _{2алс} | Pt4f _{7/2} | 72.8 | 1.90 |
| PtO/Pt ²⁺ | Pt4f _{7/2} | 73.8 | 1.01 |
| MoO ₂ | Mo3d _{5/2} | 229.5 | 0.90 |
| Mo ⁵⁺ | Mo3d _{5/2} | 230.9 | 1.72 |
| MoO ₂ /Mo ⁵⁺ | Mo3d _{5/2} | 232.1 | 2.10 |
| [MoO ₄] ²⁻ /Mo ⁵⁺ | Mo3d _{5/2} | 232.9 | 9.50 |
| MoO ₃ /Mo ⁶⁺ | Mo3d _{5/2} | 234.0 | 9.40 |
| Оксиды | O1s | 530.6 | 33.60 |
| Оксиды/OH _{алс} | O1s | 531.9 | 25.90 |
| H ₂ O _{алс} | O1s | 533.3 | 5.20 |

превышение экспериментальной потери массы над вычисленным значением может указывать на возможность более полного восстановления ионов $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ до металлического состояния. Важно подчеркнуть, что продукт взаимодействия при 500°C, окончательно сформированный уже при 400°C, по данным РФА, содержит металлическую платину и упорядоченные интерметаллические фазы Pt₃Mo.

Существование упорядоченной фазы Pt₃Mo при 773 K в бинарном сплаве платина–молибден при $x_{\text{Pt}} > 0.5$ установлено ранее [18]. Появление на дифрактограммах пика в области $2\theta = 42\text{--}43^\circ$ может указывать на образование разнообразных упорядоченных интерметаллических фаз Pt_xMo_y, [19–21]. По данным элементного анализа, состав соединения, полученного в аргоне при 500°C, описывается формулой Pt_{0.72}Mo_{0.21}O_{0.07}. Незначительное количество кислорода в образце указывает на следовые количества оксидных фаз молибдена, который не вошел в состав твердого раствора.

Зарядовые состояния и элементный состав (табл. 2) определены методом РФЭС. Спектры Pt4f и Mo3d представлены спин-орбитальными дублетами Pt4f_{7/2}–Pt4f_{5/2} и Mo3d_{5/2}–Mo3d_{3/2} соответственно. Каждый спектр состоит из нескольких компонент, соответствующих разным зарядовым состояниям элементов. По данным РФЭС, соотношение Pt:Mo:O = 11.6:23.6:64 ат% может указывать на то, что не вошедший в состав твердого раствора молибден окисляется. Анализ линий позволил выявить на поверхности металлическую платину, $E_{\text{св}}(\text{Pt}4f_{7/2}) = 71.7 \text{ эВ}$, в количестве 8.7%, а также несколько ее окисленных состояний, при-

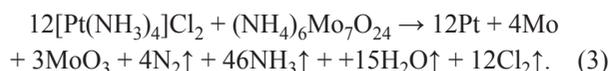
¹ Фазовый состав промежуточного продукта, полученного при 265°C, идентифицировать не удалось.

сутствующих в форме $\text{Pt}(\text{OH})_2$ и PtO (1.9 и 1% соответственно).

Молибден в поверхностном слое представлен разными формами: 9.4 ат% MoO_3 , $E_{\text{св}}(\text{Mo}3d_{5/2})$ 234 эВ; 13.3 ат% Mo^{5+} и 0.9 ат% MoO_2 . Вероятно, в ходе взаимодействия часть молибдена восстанавливается, образуя твердый раствор с платиной. Молибден, не вошедший в состав твердого раствора, представлен оксидами, что хорошо согласуется с данными РФА и ТГ.

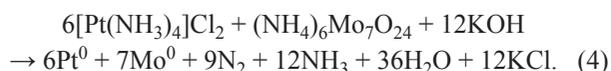
Наблюдаемый пик кислорода O_{1s} имеет сложную структуру и состоит из нескольких компонент: $E_{\text{св}}(O_{1s})$ 530.6, 531.9 и 533.3 эВ. Первая компонента относится к кислороду в составе оксидов, а вторая и третья – к гидроксидной группе и воде соответственно, присутствие которых на поверхности образца, возможно, объясняется адсорбцией воды из воздуха при подготовке образца к анализу.

Полученные результаты дают основание полагать, что взаимодействие $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ и $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ в атмосфере аргона описывается уравнением (3); доля оксидной фазы молибдена в продукте термолитиза гораздо ниже, чем металлической фазы.



По данным РФА, продукт взаимодействия исследуемых солей в окислительной атмосфере (воздух) при 500°C состоит из двух фаз: кубического твердого раствора на основе платины – $\text{Pt}_{1-x}\text{Mo}_x$, пространственная группа $Fm\text{-}3m$, $a = 3.928(3) \text{ \AA}$, и оксида MoO_3 ; его состав может быть описан формулой $\text{Pt}_{0.68}\text{Mo}_{0.19}\text{O}_{0.13}$.

Выбранные соли платины и молибден взаимодействуют между собой в водном щелочном растворе при 190°C (в автоклаве). Образующийся продукт реакции представлен двумя фазами: Pt и кубическим твердым раствором на основе платины $\text{Pt}_{0.734}\text{Mo}_{0.266}$, $a = 3.935(4) \text{ \AA}$ [22]. Его образование описывается уравнением (4).



В отличие от соединений, полученных в твердой фазе (Ar, воздух) в температурном интервале $50\text{--}500^\circ\text{C}$, среди продуктов реакции, полученных в автоклаве, отсутствуют оксидные фазы.

Таким образом, взаимодействие $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ и $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ в твердой фазе (Ar, воздух) при 500°C протекает с образованием металлических фаз молибдена и платины, подтверждая наше предположение, что ионы Pt^{2+} в присутствии аммиака индуцируют восстановление ионов $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ до металлического состояния. Полученные результаты указывают на возможность получения дисперсных биметаллических порошков платина–молибден.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 3765-78, ЧДА, РЕАХИМ) и $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, синтезированный по методике [14] из платинохлористоводородной кислоты (ТУ 2612-059-00196533-2002, ОАО «Красцветмет» им. В.Н. Гулидова). Прочие реактивы имели квалификацию не ниже ХЧ.

Термогравиметрический анализ выполняли на приборе синхронного термического анализа STA 449C Jupiter Netzsch (Германия), совмещенном с масс-спектрометром QMS 403 C Aeolos (Красноярский региональный центр коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН»). К смеси навесок исходных соединений, взятых в заданном соотношении, добавляли минимальное количество дистиллированной воды, тщательно перемешивали в чашке для выпаривания, которую помещали в сушильный шкаф при 100°C , и доводили смесь до постоянной массы. Образец исследуемой твердой смеси помещали в корундовый тигель и нагревали со скоростью 10 град/мин в токе аргона (40 мл/мин)². Промежуточные продукты термического разложения для изучения их фазового и химического состава получали в проточном кварцевом реакторе, вставленном в трубчатую печь, в токе аргона (40 мл/мин) при температурах, соответствующих эндо- и экзоэффектам на термограммах.

Рентгенограммы снимали на порошковом дифрактометре ARL X'TRA TermoFisher Scientific (Швейцария) с использованием монохроматического излучения (CuK_α , $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$, линейная коррекция длины волны 1.54433 \AA , сканирование с

² В воздушной атмосфере опыты вели в трубчатой воздушной печи при скорости нагрева 10 град/мин.

шагом 2° , время набора импульсов – 3 с, интервал углов $2\theta = 5-80^\circ$). Для идентификации образовавшихся фаз проводили рентгенофазовый анализ с использованием автоматизированной базы данных PCPDFWIN PDF2. Параметры элементарной ячейки уточняли с помощью программы DICVOL04 [15]. Рентгенофотоэлектронные спектры исследуемых порошков получали на рентгенофотоэлектронном спектрографе Omicron ESCA+ при возбуждении монохроматическим Al-излучением с энергией 1486.6 эВ и мощностью 252 Вт. Давление в камере анализатора не превышало 10^{-9} Торр. Энергия анализатора составляла 20 эВ. Положение линий элементов, входящих в состав поверхностного слоя, стандартизовали по пику C1s остаточных углеводородных загрязнений при получении порошков и из атмосферы. Элементный состав продуктов термолитической смеси устанавливали, используя энергодисперсионный микроанализатор Analysis Station JED-2300 Jeol (Япония) при ускоряющем напряжении 20 кВ.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sankar M., Dimitratos N., Miedziak P. J., Wells P.P., Kiely J., Hutchings G.J. // Chem. Soc. Rev. 2012. Vol. 41. P. 8099. doi 10.1039/c2cs35296f
2. Wei Zh., Sun J., Y. Li, Datye A. K. Wong Y. // Chem. Soc. Rev. 2012. Vol. 41. P. 7994. doi 10.1039/c2cs35201j
3. Wang D., Peng Q., Li Y. // Nano Res. 2010. N 3. P. 574. doi 10.1007/s12274-010-0018-4
4. Lian X., Guo W., Liu F., Yang Y., Y. Xiao Y., Zhang Y., Tian W. Q. // Comp. Mater. Sci. 2015. Vol. 96. Pt A. P. 237. doi 10.1016/j.commatsci.2014.09.025
5. Toyoda T., Nishihara Y., Qian E. W. // Fuel Process Techn. 2014. Vol. 125. P. 86. doi 10.1016/j.fuproc.2014.03.033
6. Morán C., González E., Sánchez J., Solano R., Carruyo G., Moronta A. // J. Col. Inter. Sci. 2007. Vol. 315. N 1. P. 164. doi 10.1016/j.jcis.2007.06.027
7. Boufaden N., Akkari R., Pawelec B., Fierro J.L.G., Said Z. M., Ghorbel A. // J. Mol. Cat. (A). 2016. Vol. 420. P. 96. doi 10.1016/j.molcata.2016.04.011
8. Lu G.-P., Ma X.-B., Yang H.-F., Kong D.-S., Feng Y.-Y. // Int. J. Hydr. Energ. 2015. Vol. 40. N 17. P. 5889. doi 10.1016/j.ijhydene.2015.03.026
9. Hao Y., Wang X., Zheng Y., Shen J., Yuan J., Wang A.-j., Niu L., Huang S. // Electrochim. Acta. 2016. Vol. 198. P. 127. doi 10.1016/j.electacta.2016.03.054
10. Dietrich P.J., Sollberger F.G., Akatay M.C., Stach E.A., Delgass W.N., Miller J.T., Ribeiro F.H. // Appl. Catal. (B). 2014. Vol. 156. P. 236. doi 10.1016/j.apcatb.2014.03.016
11. Zhang H., Wang Z., Li S., Jiao Y., Wang J., Zhu Q., Li X. // Appl. Therm. Eng. 2017. Vol. 111. P. 811. doi 10.1016/j.applthermaleng.2016.10.006
12. Фесик Е.В., Буслаева Т.М., Мельникова Т.И., Тарасова Л.С. // Неорг. матер. 2017. Т. 53. № 10. С. 1057; Fesik E.V., Buslaeva T.M., Melnikova T.I., Tarasova L.S. // Inorg. Mater. 2017. Vol. 53. N 10. P. 1033. doi 10.1134/S0020168517100065
13. Заражевский В.И., Гребнев В.В., Фесик Е.В., Мальчиков Г.Д. // Вестн. МИТХТ. 2010. Т. 5. № 6. С. 70.
14. Синтез комплексных соединений металлов платиновой группы / Под ред. И.И. Черняева. М: Наука. 1964. 339 с.
15. Boultif A., Louer D. // J. Appl. Cryst. 2004. Vol. 37. P. 724. doi 10.1107/S0021889804014876
16. Благородные металлы / Под ред. Е.М. Савицкого. М.: Металлургия, 1984. 592 с.
17. Raddi de Araujo L.R., Schmal M. // Appl. Catal. (A). 2000. Vol. 203. N 2. P. 275. doi 10.1016/S0926-860X(00)00487-7
18. Kim J.-S., Seol D., Ji J., Jang H.-S., Kim Y., Lee B.-J. // Calphad. 2017. Vol. 59. P. 131. doi 10.1016/j.calphad.2017.09.005
19. Rooksby H.P., Lewis B. // J. Less-Common Met. 1964. Vol. 6. P. 451. doi 10.1016/0022-5088(64)90090-6
20. van Reuth E.C., Waterstrat R.M. // Acta Crystallogr. (B). 1968. Vol. 24. P. 186. doi 10.1107/S0567740868001937
21. Topic M., Khumalo Z., Pineda-Vargas C.A. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. (B). 2014. Vol. 318. P. 163. doi 10.1016/j.nimb.2013.06.047
22. Фесик Е.В., Буслаева Т.М., Мельникова Т.И. // ЖОХ. 2017. Т. 87. Вып. 2. С. 177; Fesik E.V., Buslaeva T.M., Melnikova T.I. // Russ. J. Gen. Chem. 2017. Т. 87. N 2. P. 159. doi 10.1134/S1070363217020013

Interaction of Tetraamminplatinum(II) Chloride with Ammonium Heptamolibdate in Solid Phase

E. V. Fesik^{a,*}, T. M. Buslaeva^a, T. I. Melnikova^b, and L. S. Tarasova^c

^a MIREA-Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow, 119571 Russia

^b Non-Profit Partnership "Promoting Chemical and Environmental Education", Moscow, 101848 Russia

^c Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Krasnoyarsk, 660036 Russia
*e-mail: 1707-fesik@mail.ru

Received February 15, 2020; revised February 15, 2020; accepted February 27, 2020

The thermal analysis and mass spectrometry methods were used to study the interaction of $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ and $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}$ in an inert atmosphere (Ar) in the temperature range of 50–500°C. Using XRD, XPS, and elemental analysis, it was established that the product is represented by an ordered Pt_3Mo phase with a small amount of molybdenum(VI) oxide. It was shown for the first time that the interaction of precursor compounds in the solid phase under the considered conditions is accompanied by the reduction of metals, and Pt^{2+} ions in the presence of ammonia induce reduction. A reaction equation describing the ongoing interaction was proposed.

Keywords: platinum, molybdenum, thermal analysis