

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,  
НАНОСТРУКТУР  
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

*МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ*

**выпуск 10**

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

**Официальный сайт издания в сети Интернет:  
[www.physchemaspects.ru](http://www.physchemaspects.ru)**

**Ф50** Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018  
© Тверской государственной  
университет, 2018

УДК 544.478.1

**ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМОННОГО  
РЕЗОНАНСА НА ПОВЕДЕНИЕ  
ПОЛИМЕР-СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
НАНОЧАСТИЦ В РЕАКЦИИ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ**

Н.А. Немыгина<sup>1,2</sup>, Е.С. Бахвалова<sup>1</sup>, Е.В. Бучма<sup>1</sup>, И.С. Смирнов<sup>1,3</sup>, Л.Ж. Никошвили<sup>1</sup>,  
Э.М. Сульман<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»  
170026, Россия, Тверь, наб. А. Никитина, 24

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»  
170100, Россия, Тверь, ул. Желябова, 33

<sup>3</sup>Laboratory of X-Ray Powder Diffractometry and Spectrometry  
Institute of Physical Chemistry PAS, 01-224, Poland, Warsaw, ul. Kasprzaka 44/52  
n.nemygina@gmail.com

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.492

**Аннотация:** Данная работа посвящена исследованию влияния света в видимой области спектра на активность моно- (*Au, Pd*) и биметаллических (*Au – Pd*) катализаторов. Данные электронной микроскопии показали, что в процессе синтеза биметаллического катализатора формируются наночастицы со структурой ядро-оболочка. В результате тестирования моно- и биметаллических образцов в реакции Сузуки между 4-броманизолом и фенилбороновой кислотой в оптимальных условиях было обнаружено, что активность биметаллического катализатора заметно возрастает при проведении реакции на свету за счет возникновения локального поверхностного плазмонного резонанса, позволяющего, как предполагается, ускорить стадию окислительного присоединения 4-броманизола к палладию.

**Ключевые слова:** *кросс-сочетание Сузуки, золото, палладий, биметаллический катализатор, сверхсшитый полистирол, локальный поверхностный плазмонный резонанс.*

## 1. Введение

Реакция кросс-сочетания Сузуки – один из эффективных способов синтеза биариллов из арилгалогенидов и арилбороновых кислот, как в лабораторных, так и в промышленных процессах [1, 2].

Различные *Pd*-содержащие катализаторы позволяют обеспечить высокую скорость реакции и высокий выход продукта. Однако, общим недостатком всех существующих для этой реакции каталитических систем является потеря каталитической активности в результате вымывания палладия из катализатора [3]. В связи с этим, в настоящее время большое количество исследований направлено на увеличение активности, селективности и стабильности катализаторов путем легирования палладия различными переходными металлами для создания биметаллических каталитических систем [4, 5]. Известно, что *Au(I)* является изоэлектронным с *Pd(0)* и может катализировать реакцию Сузуки. Так, было показано [6], что золотые наночастицы, осажденные на *MgO* или *CaO*

обладают высокой активностью в реакции кросс-сочетания 4-броманизола и фенилбороновой кислоты: выход продукта достигал 92% в присутствии  $K_2CO_3$  в качестве основания и диметилформамида в качестве растворителя [6]. Повышение активности в присутствии золота наблюдалось для палладиевых катализаторов на основе МСМ-41 (при использовании биметаллического катализатора  $Au-Pd$ /МСМ-41 выход продуктов составил 85–99% в зависимости от субстрата). Влияние золота обусловлено изменением электронной структуры каталитически активного палладия и структурными изменениями в катализаторе [7].

Сплавы  $Au-Pd$  с различным соотношением металлов (3:1, 1:1, 1:3), инкапсулированные в  $SiO_2$  проявили более высокую селективность и стабильность в реакции кросс-сочетания Сузуки между йодбензолом и фенилбороновой кислотой по сравнению с коммерческим катализатором  $Pd/C$ . При этом, наиболее активен оказался катализатор с соотношением  $Au: Pd = 1:3$  (конверсия йодбензола составила 99,8%) [8]. При использовании биметаллических ( $Au-Pd$ ) катализаторов в реакции Сузуки было обнаружено, что каталитическую активность можно повысить, действуя на реакционную смесь излучением в УФ, видимой и ближней ИК области спектра, что обусловлено возникновением локального поверхностного плазмонного резонанса. В этом случае предполагается, что плазмонно-возбужденный электрон переносится через поверхность контакта  $Au$  и  $Pd$ , что приводит к скоплению «горячих» электронов на  $Pd$  и ускорению палладий-катализируемых реакций. Так, например, в [9] использовали нанонити  $Au$  как плазмонные преобразователи, при этом наночастицы палладия катализировали реакцию Сузуки. Интересно отметить, что ускорение реакции под действием света в видимой области спектра объяснялось двумя факторами: локальным поверхностным плазмонным резонансом и фототермическим нагреванием. Кроме того, нанонити  $Au$  длиной 40 нм и толщиной порядка 10 нм были успешно осаждены на поверхность  $SiO_2$ , в результате чего был получен гибридный катализатор  $Pd-Au/SiO_2$ . Монометаллический катализатор  $Pd/SiO_2$  проявил низкую активность (выход продукта реакции 7%) в темноте, и небольшое увеличение активности (выход 10%) на свету или при термическом нагревании, однако после нанесения наночастиц  $Pd$  на поверхность нанонитей  $Au$  ( $Pd-Au/SiO_2$ ) активность катализатора на свету заметно возросла (выход 78%). Было сделано предположение, что вклад плазмонного эффекта является преобладающим [9].

В работе [2] сообщалось, что катализатор  $Au-Pd/TiO_2$  можно использовать в реакции Сузуки между йодбензолом и фенилбороновой

кислотой при комнатной температуре на свету. Было обнаружено, что выход бифенила заметно возрастает при использовании  $Au-Pd/TiO_2$  вместо  $Pd/TiO_2$  (98% против 37%). При этом биметаллический катализатор стабилен на протяжении пяти повторных использований. Исследование также показало, что благодаря сильному локальному поверхностному плазмонному резонансу золота возбужденные электроны могут переходить на палладий, тем самым облегчая активацию арилгалогенида [2].

Данная работа посвящена исследованию моно- ( $Au, Pd$ ) и биметаллических ( $Au-Pd$ ) катализаторов на основе сверхсшитого полистирола (СПС) марки MN100 в реакции кросс-сочетания Сузуки между 4-броманизолом и фенилбороновой кислотой, проводимой на свету и в темноте. Ранее было показано, что СПС может быть успешно использован в качестве носителя для создания монометаллических палладиевых катализаторов реакции Сузуки [10]. Ожидается, что введение золота в состав катализатора в сочетании с плазмонным эффектом позволит повысить активность и стабильность низкопроцентных монометаллических палладиевых катализаторов на основе СПС в выбранной реакции кросс-сочетания.

## 2. Экспериментальная часть

Монометаллические  $Au$ - и  $Pd$ -содержащие катализаторы были синтезированы методом импрегнации СПС марки MN100 прекурсорами металлов  $HAuCl_4$  (катализатор  $Au/MN100$ ) и  $PdCl_2(CH_3CN)_2$  (катализатор  $Pd/MN100$ ). Золото было восстановлено в токе водорода при  $300^\circ C$  в течение трех часов. Палладий был восстановлен водным раствором боргидрида натрия ( $NaBH_4$ ) концентрацией 0,1 моль/л. Биметаллический катализатор  $Au-Pd/MN100$  был синтезирован методом последовательной пропитки по влагоемкости предварительно восстановленного катализатора  $Au/MN100$  раствором  $PdCl_2(CH_3CN)_2$ . Палладий в биметаллическом катализаторе также был восстановлен  $NaBH_4$ .

Содержание золота и палладия в катализаторах (см. Таблицу 1) было определено методом рентгенофлуоресцентного анализа. Катализатор  $Au-Pd/MN100$  был охарактеризован методом темнопольной просвечивающей растровой электронной микроскопии с регистрацией высокоугловых рассеянных электронов (ПРЭМ) в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (ЭДС). Кроме того, для идентификации различных фаз в их смеси на основе анализа дифракционной картины, для образца  $Au-Pd/MN100$  был проведен рентгенофазовый анализ (РФА) с применением порошкового дифрактометра D5000 (Bruker AXS).

Таблица 1. Результаты рентгенфлуоресцентного анализа

Катализатор	Содержание <i>Au</i> , масс.%	Содержание <i>Pd</i> , масс.%
<i>Au</i> / MN100	1,8	-
<i>Pd</i> / MN100	-	0,5
<i>Au – Pd</i> / MN100	2,2	0,4

Реакция Сузуки между 4-броманизолом (0,5 ммоль) и фенилбороновой кислотой (0,75 ммоль) проводилась в термостатируемом стеклянном реакторе периодического действия объемом 30 мл при следующих условиях: 0,75 ммоль *NaOH*, растворитель – смесь этанола и воды в объемном соотношении 5:1, температура 60°C, масса вносимого катализатора 0,025 г, общий объем жидкой фазы 15 мл. Перемешивание осуществлялось с помощью магнитной мешалки (частота перемешивания 600 об./мин). Реакция проводилась в темноте и на свету (в качестве дополнительного источника освещения использовали лампу накаливания мощностью 300 Вт). Продолжительность реакции составила 3 часа.

### 3. Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлена ПРЭМ микрофотография (а) и распределение наночастиц по размерам (б) для катализатора *Au – Pd* / MN100. Очевидно, что катализатор обладает полимодальным распределением наночастиц по размерам, при этом частицы распределены равномерно в матрице СПС и не образуют скоплений.

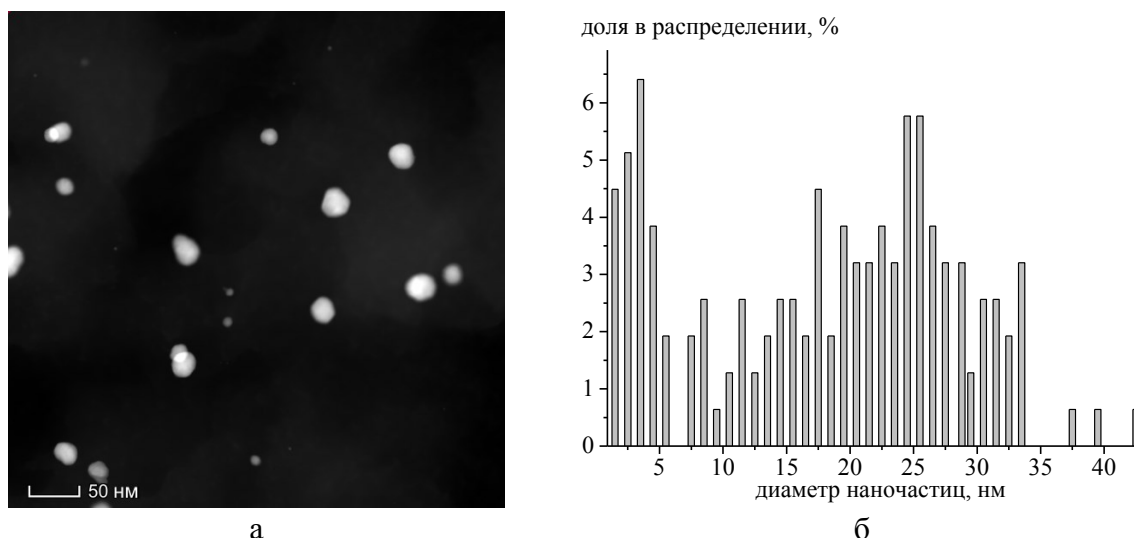


Рис. 1. а – ПРЭМ микрофотография катализатора *Au-Pd*/MN100, б – распределение наночастиц по размерам.

На рис. 2 представлено комбинированное изображение отдельной наночастицы *Au – Pd* (а), полученное совмещением ПРЭМ микрофотографии высокого разрешения с данными элементного

картирования по содержанию золота и палладия (метод ЭДС), а также профиль линейного сканирования поперечного сечения данной биметаллической частицы (б). Очевидно (см. рис. 2), что в случае образца  $Au-Pd/MN100$  имеет место формирование биметаллических наночастиц со структурой ядро-оболочка, в которых интенсивность сигнала палладия сильнее на поверхности наночастицы, а сигнала золота – в ядре.

Следует отметить, что в случае частиц со структурой ядро-оболочка важную роль играет толщина слоя палладия [11]. Для катализатора  $Au-Pd/MN100$  было обнаружено, что толщина слоя палладия составляет менее 1 нм (см. рис. 2), что соответствует приблизительно 2–3 монослоям атомов  $Pd$ . Согласно данным [11] указанная толщина палладиевой оболочки близка к оптимальной для биметаллических наночастиц  $Au-Pd$ , применяемых в качестве катализаторов реакции Сузуки.

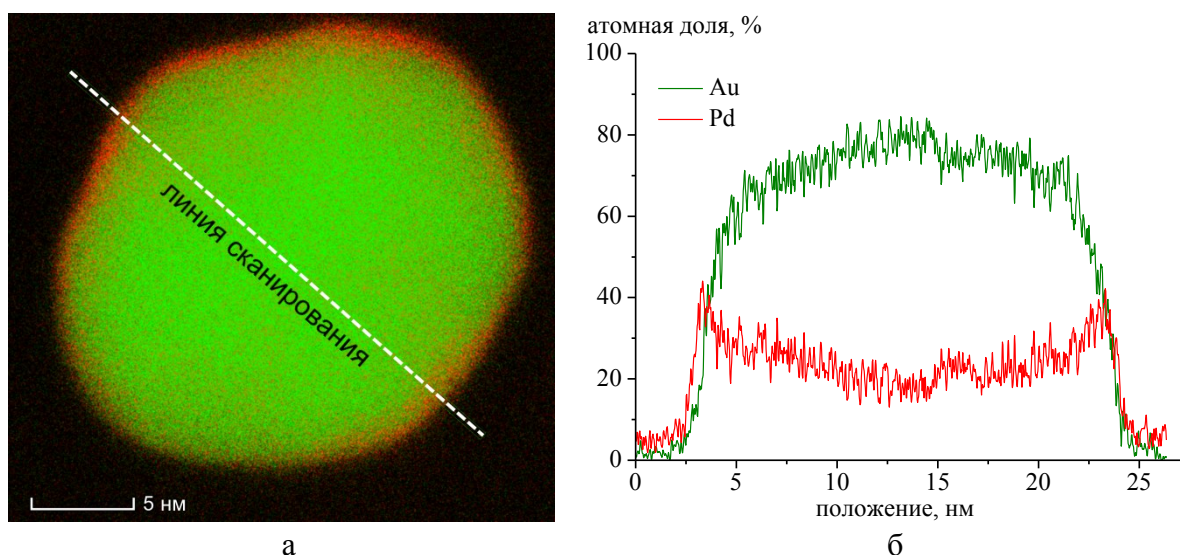


Рис. 2. а – комбинированное изображение отдельной наночастицы  $Au-Pd$ , б – профиль линейного сканирования поперечного сечения частицы.

Интересно отметить, что по результатам РФА анализа рентгенограмма биметаллического катализатора  $Au-Pd/MN100$  (см. рис. 3) практически совпадает по положению и форме пиков с рентгенограммой монометаллического образца  $Au/MN100$ . Такая особенность типична для частиц, имеющих четкую структуру  $Au_{core}-Pd_{shell}$ . Известно, что аналитический сигнал, получаемый при РФА, главным образом, определяется элементами, которые находятся в центре кластера, чем элементами, находящимися на периферии [12]. По результатам РФА было обнаружено, что частицы золота, составляющего ядро, имеют форму, близкую к икосаэдрической, о чем свидетельствует преобладание граней (111) (угол  $2\theta$  составляет приблизительно  $38^\circ$ ) и (200) (угол  $2\theta$  составляет приблизительно  $44^\circ$ ), что хорошо согласуется с данными ПРЭМ.

По результатам тестирования моно- ( $Au, Pd$ ) и биметаллических ( $Au-Pd$ ) образцов катализаторов было обнаружено (см. Таблицу 2), что при проведении реакции кросс-сочетания с использованием  $Au-Pd/MN100$  конверсия 4-броманизола на свету составляет 74%, что на 18% превышает значение конверсии 4-броманизола, достигаемой в аналогичных условиях в темноте (56%).

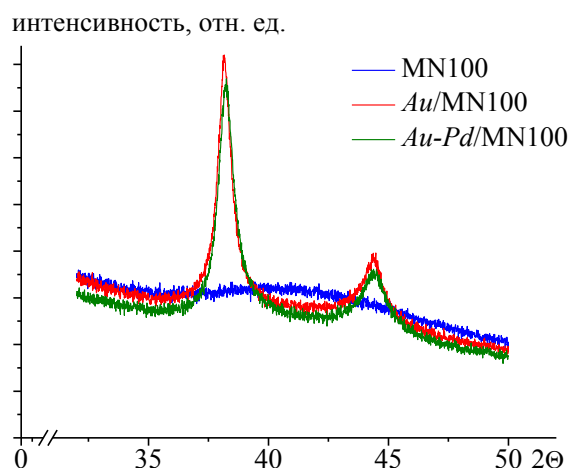


Рис. 3. рентгенограммы образцов  $Au/MN100$  и  $Au-Pd/MN100$ .

Таблица 2. Результаты тестирования катализаторов на свету и в темноте

Катализатор	Конверсия 4-броманизола, %		Активность катализатора, $ч^{-1}$	
	На свету	В темноте	На свету	В темноте
$Au/MN100$	3	2	2	2
$Pd/MN100$	23	25	32	34
$Au-Pd/MN100$	74	56	149	114

При этом облучение светом в видимой области спектра практически не повлияло на поведение монометаллических образцов. Данный факт, по всей видимости, связан с тем, что наночастицы золота, стабилизированные СПС, изначально обладают низкой активностью в реакции кросс-сочетания Сузуки, тогда как палладий не является плазмонным металлом в видимой области спектра. Повышение каталитической активности биметаллического образца, вероятно, связано с возникновением локального поверхностного плазмонного резонанса на поверхности  $Au$ , доступной действию излучения, что позволяет ускорить стадию окислительного присоединения 4-броманизола к  $Pd$  за счет переноса на палладий возбужденных электронов.

#### 4. Заключение

Таким образом, по результатам исследований показано, что биметаллический катализатор  $Au-Pd/MN100$  может быть эффективно



использован в реакции кросс-сочетания Сузуки между 4-броманизолом и фенилбороновой кислотой в мягких условиях как в темноте, так и на свету. При этом возникающий на свету локальный поверхностный плазмонный резонанс позволяет повысить активность биметаллического катализатора в 1,3 раза по сравнению с опытом в темноте.

Авторы выражают благодарность Prof. Z. Kaszkur (Laboratory of X-Ray Powder Diffractometry and Spectrometry, Institute of Physical Chemistry PAS, Poland, Warsaw) за помощь в проведении РФА, Dr. T. LaGrange (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland) за помощь в проведении ПРЭМ ЭДС. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00429).

### Библиографический список:

1. **Hajipour, A.R.** Silica-acac-supported palladium nanoparticles as an efficient and reusable heterogeneous catalyst in the Suzuki–Miyaura cross-coupling reaction in water / A.R. Hajipour, Z. Shirdashtzade, G. Azizi // Journal of Chemical Sciences. – 2014. – V. 126. – I. 1. – P. 85-93.
2. **Han, D.** Fabrication of plasmonic *Au–Pd* alloy nanoparticles for photocatalytic Suzuki–Miyaura reactions under ambient conditions / D. Han, Z. Bao, H. Xing, et al. // Nanoscale. – 2017. – V. 9. – I. 18. – P. 6026-6032.
3. **Cantillo, D.** Immobilized transition metals as catalysts for cross-couplings in continuous flow - a critical assessment of the reaction mechanism and metal leaching / D. Cantillo, C.O. Kappe // ChemCatChem. – 2014. – V. 6. – I. 12. – P. 3286-3307.
4. **Pagliaro, M.** Heterogeneous versus homogeneous palladium catalysts for cross-coupling reactions / M. Pagliaro, V. Pandarus, R. Ciriminna, F. Beland, P.D. Cara // ChemCatChem. – 2012. – V. 4. – I. 4. – P. 432-445.
5. **Collins, G.** The origin of shape sensitivity in palladium-catalyzed Suzuki–Miyaura cross-coupling reactions / G. Collins, M. Schmidt, C. O'Dwyer, J.D. Holmes, G.P. McGlacken // Angewandte Chemie International Edition. – 2014. – V. 53. – I. 16. – P. 1-5.
6. **Dumbre, D.K.** Suzuki–Miyaura cross-coupling reaction between aryl halides and phenylboronic acids over gold nano-particles supported on *MgO* (or *CaO*) and other metal oxides / D.K. Dumbre, P.N. Yadav, S.K. Bhargava, V.R. Choudhary // Journal of Catalysis. – 2013. – V. 301. – P. 134-140.
7. **Speziali, M.G.** Air stable ligandless heterogeneous catalyst systems based on *Pd* and *Au* supported in *SiO<sub>2</sub>* and MCM-41 for Suzuki–Miyaura cross-coupling in aqueous medium / M.G. Speziali, A.G.M. da Silva, D.M. Vaz de Miranda et al. // Applied Catalysis A: General. – 2013. – V. 462-463. – P. 39-45.
8. **Tan, L.F.** Confining alloy or core–shell *Au–Pd* bimetallic nanocrystals in silica nanorattles for enhanced catalytic performance / L.F. Tan, X.L. Wu, D. Chen et al. // Journal of Materials Chemistry A. – 2013. – V. 1. – I. 35. – P. 10382-10388.
9. **Wen, M.** Enhancement of *Pd*–catalyzed Suzuki–Miyaura coupling reaction assisted by localized surface plasmon resonance of *Au* nanorods / M. Wen, S. Takakura, K. Fuku, K. Mori, H. Yamashita // Catalysis Today. – 2015. – V. 242. – Part B. – P. 381-385.
10. **Немыгина, Н.А.** Оптимизация условий синтеза 4-метоксибифенила реакцией Сузуки-Мияура с использованием полимер-содержащего катализатора / Н.А. Немыгина, Л.Ж. Никошвили, В.Г. Матвеева и др. // Вестник ТвГУ. Серия: Химия.

– 2017. – № 3. – С. 37-43.

11. **Fang, P.-P.** *Au–Pd* core-shell nanoparticles catalyze Suzuki-Miyaura reactions in water through *Pd* leaching / P.-P. Fang, A. Jutand, Z.-Q. Tian // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2011. – V. 50. – I. 51. – P. 12184-12188.

12. **Kaszur, Z.** Self-diffusion in nanocrystalline alloys / Z. Kaszcur, W. Juszczyk, D. Lomot // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2015. – V. 17. – I. 42. – P. 28250-28255.

### References:

1. **Hajipour, A.R.** Silica-acac-supported palladium nanoparticles as an efficient and reusable heterogeneous catalyst in the Suzuki–Miyaura cross-coupling reaction in water / A.R. Hajipour, Z. Shirdashtzade, G. Azizi // *Journal of Chemical Sciences*. – 2014. – V. 126. – I. 1. – P. 85-93.

2. **Han, D.** Fabrication of plasmonic *Au–Pd* alloy nanoparticles for photocatalytic Suzuki–Miyaura reactions under ambient conditions / D. Han, Z. Bao, H. Xing, et al. // *Nanoscale*. – 2017. – V. 9. – I. 18. – P. 6026-6032.

3. **Cantillo, D.** Immobilized transition metals as catalysts for cross-couplings in continuous flow - a critical assessment of the reaction mechanism and metal leaching / D. Cantillo, C.O. Kappe // *ChemCatChem*. – 2014. – V. 6. – I. 12. – P. 3286-3307.

4. **Pagliaro, M.** Heterogeneous versus homogeneous palladium catalysts for cross-coupling reactions / M. Pagliaro, V. Pandarus, R. Ciriminna, F. Beland, P.D. Cara // *ChemCatChem*. – 2012. – V. 4. – I. 4. – P. 432-445.

5. **Collins, G.** The origin of shape sensitivity in palladium-catalyzed Suzuki-Miyaura cross-coupling reactions / G. Collins, M. Schmidt, C. O'Dwyer, J.D. Holmes, G.P. McGlacken // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2014. – V. 53. – I. 16. – P. 1-5.

6. **Dumbre, D.K.** Suzuki–Miyaura cross-coupling reaction between aryl halides and phenylboronic acids over gold nano-particles supported on *MgO* (or *CaO*) and other metal oxides / D.K. Dumbre, P.N. Yadav, S.K. Bhargava, V.R. Choudhary // *Journal of Catalysis*. – 2013. – V. 301. – P. 134-140.

7. **Speziali, M.G.** Air stable ligandless heterogeneous catalyst systems based on *Pd* and *Au* supported in *SiO<sub>2</sub>* and MCM-41 for Suzuki-Miyaura cross-coupling in aqueous medium / M.G. Speziali, A.G.M. da Silva, D.M. Vaz de Miranda et al. // *Applied Catalysis A: General*. – 2013. – V. 462-463. – P. 39-45.

8. **Tan, L.F.** Confining alloy or core-shell *Au–Pd* bimetallic nanocrystals in silica nanorattles for enhanced catalytic performance / L.F. Tan, X.L. Wu, D. Chen et al. // *Journal of Materials Chemistry A*. – 2013. – V. 1. – I. 35. – P. 10382-10388.

9. **Wen, M.** Enhancement of *Pd*–catalyzed Suzuki–Miyaura coupling reaction assisted by localized surface plasmon resonance of *Au* nanorods / M. Wen, S. Takakura, K. Fuku, K. Mori, H. Yamashita // *Catalysis Today*. – 2015. – V. 242. – Part B. – P. 381-385.

10. **Nemygina, N.A.** Optimizaciya uslovij sinteza 4-metoksibifenila reakciej Suzuki-Miyaura s ispol'zovaniem polimer-soderzhashchego katalizatora / N.A. Nemygina, L.Zh. Nikoshvili, V.G. Matveeva i dr. // *Vestnik TvGU. Seriya: Himiya*. – 2017. – no. 3. – P. 37-43.

11. **Fang, P.-P.** *Au–Pd* core-shell nanoparticles catalyze Suzuki-Miyaura reactions in water through *Pd* leaching / P.-P. Fang, A. Jutand, Z.-Q. Tian // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2011. – V. 50. – I. 51. – P. 12184-12188.

12. **Kaszur, Z.** Self-diffusion in nanocrystalline alloys / Z. Kaszcur, W. Juszczyk, D. Lomot // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2015. – V. 17. – I. 42. – P. 28250-28255.

INFLUENCE OF LOCAL SURFACE PLASMON RESONANCE ON BEHAVIOR OF  
POLYMER-STABILIZED BIMETALLIC NANOPARTICLES  
IN SUZUKI CROSS-COUPPLING REACTION

N.A. Nemygina<sup>1,2</sup>, E.S. Bahvalova<sup>1</sup>, E.V. Buchma<sup>1</sup>, I.S. Smirnov<sup>1,3</sup>, L.Zh. Nikoshvili<sup>1</sup>, E.M. Sulman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tver State Technical University

<sup>2</sup>Tver State University

<sup>3</sup>Laboratory of X-Ray Powder Diffractometry and Spectrometry  
Institute of Physical Chemistry PAS

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.492

**Abstract:** This paper is devoted to investigation of the effect of light in the visible spectral range on the activity of mono- (*Au, Pd*) and bimetallic (*Au – Pd*) catalysts. Electron microscopy data showed that nanoparticles with a core-shell structure are formed during the synthesis of a bimetallic catalyst. As a result of the testing of mono- and bimetallic samples in the Suzuki reaction between 4-bromoanisole and phenylboronic acid under optimum conditions, it was found that the activity of the bimetallic catalyst increases markedly when the light response is carried out by the occurrence of a local surface plasmon resonance, which is supposed to accelerate the stage oxidative addition of 4-bromoanisole to palladium.

**Keywords:** Suzuki cross-coupling reaction, gold, palladium, bimetallic catalyst, hypercrosslinked polystyrene, local surface plasmon resonance.

*Немыгина Надежда Андреевна – аспирант регионального технологического центра ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», ассистент кафедры стандартизации, сертификации и управления качеством ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»*

*Бахвалова Елена Сергеевна – магистр ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»*

*Бучма Екатерина Валерьевна – магистр ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»*

*Смирнов Илья Сергеевич – аспирант кафедры биотехнологии и химии ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»*

*Никошвили Линда Жановна – к.х.н., доцент кафедры биотехнологии и химии ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»*

*Сулман Эсфирь Михайловна – д.х.н., профессор, заведующий кафедрой биотехнологии и химии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»*

*Nadezhda A. Nemygina – postgraduate student, Regional Technological Centre, Tver State University, assistant of the of Department of Standardization, Certification and Quality Management Tver State Technical University*

*Elena S. Bakhvalova – Master's Degree Student, Department of Biotechnology and Chemistry, Tver State Technical University*

*Ekaterina V. Buchma – Master's Degree Student, Department of Biotechnology and Chemistry, Tver State Technical University*

*Ilya S. Smirnov – postgraduate, Department of Biotechnology and Chemistry, Tver State Technical University*

*Linda Zh. Nikoshvili – Ph. D., Docent of the Department of Biotechnology and Chemistry, Tver State Technical University*

*Esther M. Sulman – Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Biotechnology and Chemistry, Tver State Technical University*