

ЖИЗНЬ, ПОСВЯЩЁННАЯ НАУКЕ. ДОМРАЧЕВ ГЕОРГИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ (1936–2017)

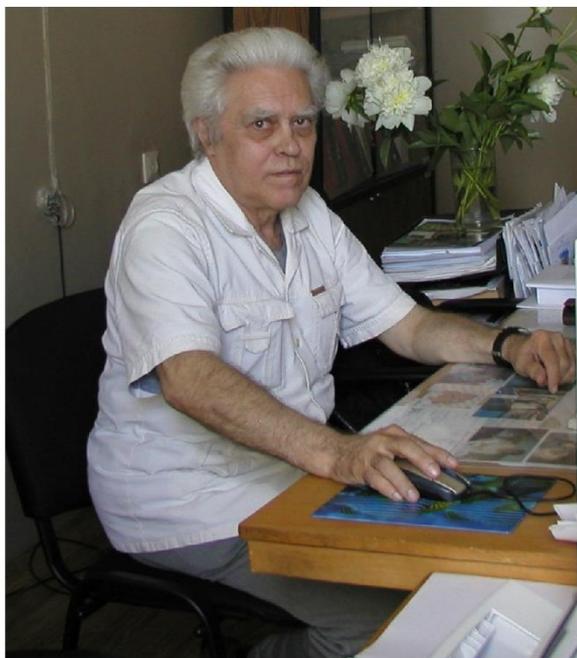
Б.И. Петров

*Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН,
г. Нижний Новгород, Россия*

Статья посвящена научной и педагогической деятельности известного учёного, металлоорганика, доктора химических наук, профессора, члена-корреспондента РАН, лауреата Государственной премии СССР Георгия Алексеевича Домрачева. Г.А. Домрачеву удалось синтезировать хроморганические соединения, изучить их свойства, снять ЭПР-спектры, подтвердить сэндвичевую структуру и опубликовать первые работы. Дальнейшие исследования процессов устойчивости металлоорганических соединений переходных и переходных металлов в процессах их синтеза и распада позволили теоретически обосновать возможность применения МОС в электронике. Работы по синтезу моно и полиядерных МОС были направлены на подтверждение развитых ранее теоретических концепций их устойчивости с целью выбора из них перспективных соединений для процессов осаждения плёнок и покрытий по гетерогенной реакции распада МОС. При непосредственном участии Г.А. Домрачева эта область исследований фактически превратилась в самостоятельное направление науки и химтехнологии.

Ключевые слова: металлоорганические соединения, катализ, стабилизатор.

Георгий Алексеевич Домрачев родился 17 июня 1936 года в городе Одесса и ещё учеником 8-го класса пришёл работать на кафедру Горьковского университета в лабораторию органической химии, где познакомился с будущим академиком Г.А. Разуваевым.



Георгий Алексеевич Домрачев

В 50-е годы был открыт ферроцен (1951 г.) и впервые Э.О. Фишером установлены структуры хромароматических сэндвич-соединений (1956 г.). Домрачев, будучи студентом университета, заинтересовался и вместе с Ю.А. Сорокиным предпринял попытки по воспроизведению синтезов гомологов бисбензолхрома. В результате проведённых исследований удалось синтезировать хроморганические соединения, изучить их свойства, снять ЭПР-спектры, подтвердить сэндвичевую структуру и опубликовать первые работы [1–2].

В это же время возникла необходимость проведения исследований по получению металлических плёнок для низкоомных резисторов для завода «Орбита». Новый класс хроморганических соединений оказался как нельзя кстати. С этой целью был изготовлен реактор, в который помещали спицу с нанизанными керамическими штабиками, нагревали их до температуры разложения МОС и вводили в зону пара хроморганической жидкости. Так впервые были получены металлизированные штабики, которые впоследствии по-

служили началом производства прецизионных резисторов с высокой стабильностью при эксплуатации.

Практически одновременно с этим было налажено промышленное производство хроморганической жидкости «Бархос» на Дзержинском ПО «Капролактам». В конце 50-х – начале 60-х годов Г.А. Разуваев, Г.А. Домрачев с сотрудниками разработали теоретические основы процесса

получения неорганических покрытий из паровой фазы при распаде различных МОС, которые привели к созданию способа осаждения металлических, карбидных, оксидных и других покрытий. Дальнейшие исследования процессов устойчивости металлоорганических соединений непереходных и переходных металлов в процессах их синтеза и распада позволили теоретически обосновать возможность применения МОС в электронике. Рассмотрение свойств МОС в тесной связи с их строением показало перспективность применения того или иного свойства соединения с целью достижения наибольшего эффекта при применении в электронике. При этом рассматривались возможности применения как индивидуальных МОС, так и продуктов их реакций с другими соединениями с использованием перспективного способа осаждения плёнок из паровой фазы при термораспаде МОС. Логическим завершением этих работ стало написание Г.А. Домрачевым докторской диссертации и её успешная защита в 1972 году.

Одновременно была написана монография совместно с Г.А. Разуваевым, Б.Г. Грибовым, Б.А. Саламатиним [3].

Дальнейшее развитие работ по практическому использованию результатов фундаментальных исследований с целью создания новых технологий синтеза и термораспада МОС для получения неорганических покрытий материалов и изделий проходило в созданной Г.А. Разуваевым лаборатории технологии МОС в Институте химии АН СССР.

Лабораторию возглавил Г.А. Домрачев. С этого момента в лаборатории начали интенсивно развиваться два основных направления – по синтезу МОС и их распаду. В это время получила развитие новая интенсивно развивающаяся область полиядерных МОС, содержащих цыпочки из непереходных металлов с переходных и переходных металлов с переходными. Так, например, взаимодействием дихлоридов металлоценов Cr_2MCl_2 , где $\text{M} = \text{Ti}, \text{Zr}, \text{Hf}$, с ферроценилом лития были получены соединения типа $(\text{C}_5\text{H}_5\text{FeC}_5\text{H}_4)_2\text{M}(\text{C}_5\text{H}_5)$ – яркоокрашенные, кристаллические комплексы, легко возгоняющиеся в вакууме [4]. Аналогично был получен бисциклопентадиенил-ниобийферроцил $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{NbFe}_2$, повышенная стабильность которого объясняется акцепторно-донорным взаимодействием $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Nb}$ -фрагмента с ферроцинильными группами [5]. Наряду с этим получены соединения со связями $\text{Ni}-\text{Cd}$, $\text{Ni}-\text{Hg}$, $\text{Pd}-\text{d}$ и ряд других [6].

Работы по синтезу моно и полиядерных МОС были направлены на подтверждение развитых ранее теоретических концепций их устойчивости, с целью выбора из них перспективных соединений для процессов осаждения плёнок и покрытий по гетерогенной реакции распада МОС. Особенно хочется отметить одно из любимых детищ Г.А. Домрачева – разработку технологии и аппаратуры для прямого синтеза МОС через газообразные металлы. Совмещение прямого синтеза МОС с осаждением неорганических покрытий из паровой фазы полученных МОС позволяет создать замкнутый цикл процесса переноса металла на различные изделия для улучшения их эксплуатационных свойств.

Большое внимание в своих работах было уделено Г.А. Домрачевым проблеме устойчивости МОС, механизму и химизму распада. Развита четыре аспекта рассмотрения этой проблемы, охватывающие молекулярное и электронное строение МОС: квантовохимический для изолированной молекулы; термодинамический, описывающий равновесия в процессах диссоциации; кинетический, который рассматривает динамическую устойчивость в термодинамически обратимых системах, включающих МОС и продукты их распада в различных агрегатных состояниях, приближённых к равновесию и, наконец, динамический – для термодинамически необратимых процессов [7, 8].

Результаты этих работ, а также теоретическая разработка и практическое использование процессов осаждения неорганических покрытий и материалов, проводимые в Институте химии АН СССР в течение ряда лет, были обобщены в двух монографиях [3, 9]. Всё это позволило директору института Г.А. Разуваеву создать в 1977 году Комиссию по применению МОС для получения покрытий при Научном совете по элементоорганической химии РАН и таким образом координировать работы в этом направлении химии в СССР. Кроме того, результаты этих исследований были представлены и широко обсуждались на I–VI Всесоюзных совещаниях по применению МОС [10–15] и опубликованы в тезисах докладов. При непосредственном участии Г.А. Домрачева эта область исследований фактически превратилась в самостоятельное направление науки и химтехнологии.

Персоналии

Термические реакции МОС как путь получения новых соединений, материалов и покрытий

Вопрос практического использования МОС всегда привлекал внимание учёных-исследователей и практиков. Это объясняется тем, что МОС широко используется в качестве катализаторов, индикаторов, стабилизаторов (в полимеризации), в процессах гомогенного гидратирования, для получения покрытий и плёнок при различных способах разложения (термического, фотохимического, в высокочастотной плазме и других).

Получение неорганических покрытий из МОС основано на их способности выделять металлы, карбиды, оксиды, нитриды и другие соединения под воздействием различных форм энергии. Привлекательность процесса распада обусловлена возможностью регулирования направления самого распада МОС и управлением параметрами твёрдой фазы в процессах осаждения покрытий. Среди разнообразных способов разложения МОС, приводящих к образованию различных функциональных покрытий, наибольшее распространение получил метод термического разложения в паровой фазе или CVD-метод [3, 16, 17]. В основе CVD-метода лежит реакция:



где M – металл, R – органический радикал или лиганд. Образование металлов при термораспаде МОС является многостадийным процессом, состоящим из нескольких стадий, включающим явления массопереноса и теплопереноса, адсорбции и десорбции, самой химической реакции и термораспада МОС, формирование твёрдой фазы и кристаллизации [9, 18].

Принимая во внимание тот факт, что Г.А. Домрачев с сотрудниками на протяжении своей жизни принимал активное участие как руководитель и исполнитель в теоретическом обосновании механизма термического превращения бисареновых соединений хрома и в практической реализации результатов этих исследований, то необходимо остановиться на этом более подробно.

Термическая устойчивость, высокая летучесть и реакционная способность бисареновых соединений хрома сделали эти соединения удобными для получения хромовых покрытий.

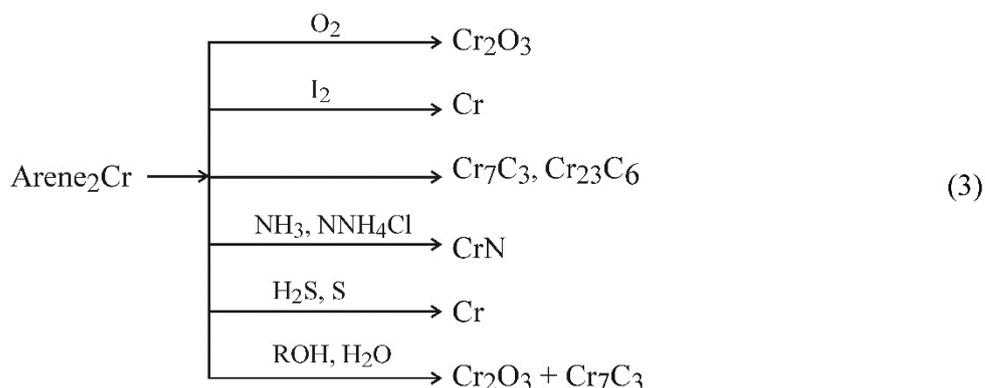
Основная реакция бисареновых соединений хрома, протекающая с образованием твёрдой фазы, практически всегда смещена в сторону образования продуктов:



Одновременно с этим идёт разложение органических лигандов, что приводит к загрязнению углеродом, а также сопровождается вторичными каталитическими превращениями лигандов, приводящими к гидрированию ароматических углеводородов с образованием циклогексана, циклогексена, этилциклогексана с выделением водорода, олефиновых углеводородов как нормального, так и изостроения.

Изучение состава твёрдой фазы, образующейся в условиях термораспада в интервале 400–700 °С, показало, что с повышением температуры разложения, например, бис(этилбензол)хрома, содержание углерода увеличивается от 0,7 до 6 % и выше.

В дальнейшем круг исследований по термораспаду бисареновых хроморганических соединений был расширен и были изучены химические условия процесса распада в зависимости от влияния различных активных добавок. Это позволило получить твердофазные осадки, состоящие из оксидов, нитридов, карбидов хрома и металлического хрома.



Все исследования в лаборатории технологии МОС проводились с хроморганической жидкостью с промышленным названием «Бархос», которая является смесью гомологов, образующихся в процессе синтеза бис(этилбензол)хрома.

Разработанные основы процесса осаждения покрытий из паровой фазы при распаде МОС привели к созданию высокоэффективного способа осаждения неорганических покрытий, запатентованного в семи странах [19].

Основное внимание было уделено нанесению покрытий из хромоорганической жидкости «Бархос», так как это соединение является удобным для низкотемпературного (350–450 °С) синтеза пиролитических хромкарбидных плёнок, обладающих высокими износ- и коррозионно-стойкими свойствами.

Главными направлениями являлись исследования зависимости адгезии, твёрдости и микро-твёрдости, износостойкости, равномерности по всей покрываемой поверхности, сплошности, пористости и других характеристик хромкарбидных плёнок и покрытий от физико-химических параметров процесса (температура, скорость подачи рабочего МОС, добавки, давление в зоне реакции разложения, подготовка поверхности) [20].

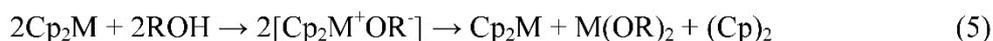
Полученные экспериментальные данные позволили разработать различные типы аппаратуры для наиболее эффективного использования процессов осаждения покрытий. Под руководством Г.А. Домрачева в Институте химии АН СССР и ряде других организаций были созданы установки различных типов (карусельные, барабанные, зонные и другие), предназначенные для покрытия материалов и изделий любой формы сложности (порошков, мелких деталей, волокон и их пучков, внутренних поверхностей длинных труб). Ряд разработок были переданы на предприятия страны и легли в основу новых промышленных технологий. Например, в производство хромовых прецизионных резисторов или нанесение износостойких покрытий на инструментальную оснастку режущий инструмент и т. д. Карбидохромовые покрытия, обладающие уникальными противозносными свойствами, одновременно имеющие высокую твёрдость, термостойкость и беспористость при толщинах выше 3 микрон, и низкое адгезионное взаимодействие с обрабатываемыми материалами, были внедрены в различных отраслях машиностроения, обрабатывающей и химической промышленности.

Дальнейшие исследования процессов распада МОС привели к созданию новых композиционных материалов на основе тугоплавких металлов, карбидов, оксидов, нитридов, боридов и других. Характерной особенностью этих процессов являются высокие скорости осаждения, особенно при подаче МОС в конденсированном состоянии к нагретой подложке [21, 22]. Примером высокоэффективных процессов осаждения с большой скоростью может служить выращивание массивных поликристаллов ZnSe [22, 23].

Окислительные реакции некоторых МОС в мягких условиях

Основными химическими реакциями для бисареновых комплексов металлов являются окислительно-восстановительные. В качестве мягких окислителей использовали многоатомные спирты. В работах автора совместно с Г.А. Домрачевым и сотрудниками был доказан механизм окисления бисаренхроморганической жидкости «Бархос», циклопентадиенильных соединений Co и Ni и некоторых других комплексов металлов многоатомными спиртами [24–27].

В общем виде схемы реакции окисления следующие:



Аналогично реагирует диэтилферроцен.

В последующем эти реакции были использованы для получения оксидо-хромовых покрытий, когда в условиях термораспада при 350–500 °С образуются чёрные покрытия. Рентгенофазовый анализ этих осадков (после отжига) показал наличие фаз Cr₂O₃ Cr₇C₃.

Персоналии

Направление термораспада в значительной степени зависит от температуры и состояния исходного МОС и окислителя. Чёрные оксидо-хромовые покрытия с максимальными скоростями до 1 мкм/мин образуются при 400–450 °С и мольном соотношении «Бархос» к этиленгликолю, равном 3:1–1:3.

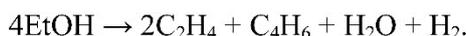
Одной из наиболее важных характеристик чёрных оксидо-хромовых покрытий является коэффициент диффузионного светопоглощения (степень черноты), достигающий 90–98 %. Такие высокие значения коэффициента связаны, скорее всего, с присутствием примесей хрома и карбида хрома в кристаллической решётке оксида хрома и наличием сильно развитой структуры поверхности. Это подтверждается, например, увеличением удельной поверхности порошка SiO₂ с 70 до 100 м/мм². Такие свойства покрытия навели на мысль провести исследования каталитической активности твёрдой фазы.

Исследование каталитических свойств твёрдой фазы

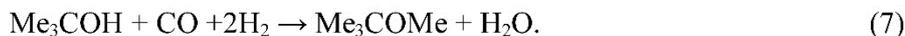
Твёрдые фазы, образующиеся в результате термораспада МОС, в присутствии различных неорганических органических добавок проявляют каталитическую активность. Так, использование оксидо-хромовых катализаторов, полученных при термическом разложении «Бархос» в присутствии многоатомных спиртов при 400–450 °С в вакууме в реакции Фишера – Тропша, позволило получить этилен и другие углеводороды [28, 29].



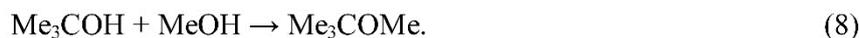
Проведено исследование реакций каталитического превращения спиртов C1–C5 над оксидо-хромовым катализатором. В этом процессе происходят одновременно две реакции: дегидрирование и дегидратация:



Метилтрет-бутиловый эфир, обладающий антидетонационными свойствами, получен простым методом над оксид-хромовым катализатором по реакции [29]



Лимитирующей стадией этой реакции является образование метанола из СО и Н₂. В аналогичных условиях эфир получен по реакции с выходом до 30 %:



Селективность катализатора достигает 67 %.

Достаточно легко идёт окисление СО до СО₂ (выход до 90 %) на никель и медьсодержащих хром-оксикарбидных катализаторах, полученных при распаде «Бархос» и Cr₂Ni в этиленгликоле или из «Бархоса» с гликолятом меди.

Таким образом, задуманная Г.А. Разуваевым и Г.А. Домрачевым стратегия развития теоретических и прикладных задач распада МОС завершилась решением крупной научно-технической проблемы, имеющей важное значение для получения новых типов покрытий и материалов с заранее заданными свойствами. Разработан ряд новых способов, реализующих эти задачи.

В 1991 году Г.А. Домрачев был избран членом-корреспондентом РАН по отделению химии и наук о материалах. Одновременно с научной деятельностью Георгий Алексеевич являлся профессором кафедры органической химии Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, где читал курс лекций студентам.

Синтез и свойства перспективных наноматериалов

Начиная с 90-х годов прошлого столетия и до конца своей жизни Г.А. Домрачев активно занимался новым направлением в науке – наноматериалами. Под его руководством в ИМХ РАН синтезированы фуллерены C₆₀ и C₇₀ сжиганием графитовых стержней в электрической дуге. При этом получается углеродная каркасная молекула фуллерена. Наиболее симметричной и стабильной фуллереновой молекулой является C₆₀. В этой молекуле атомы углерода располагаются на сферической поверхности в вершинах 20 правильных шестиугольников и 12 правильных пятиугольников. Молекула представляет собой правильный искажённый икосаэдр.

Учитывая тот факт, что фуллерен C_{60} является сильным акцептором, а бисареновые комплексы Cr и Mo восстановителями, Домрачев с сотрудниками синтезировали фуллерены ион-радикального типа с бис-(η^6 -дифенил) хромом (I), бис-(η^6 -тетралин) хромом (I), бис-(η^6 -толуол) молибденом и ряд других комплексов [30, 31].

Были изучены физико-химические свойства фуллереновых комплексов, установлены молекулярные структуры, исследованы особенности термораспада в вакууме.

Последние работы Домрачева Г.А. направлены на синтез, изучение свойств и практическое применение углеродных нанотрубок, которые представляют собой свёрнутую в цилиндр графеновую плоскость, поверхность которой выложена правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Углеродные нанотрубки могут содержать не одну, а несколько стенок. Такие трубки называются многостенными (МУНТ). В дальнейшем все работы в ИМХ РАН проводились с МУНТ. Многостенные углеродные нанотрубки были синтезированы по МО CVD технологии с использованием в качестве прекурсоров ферроцена и толуола с оптимизацией условий осаждения МУНТ; изменяя температуру печи пиролиза, скорость подачи аргона и соответственно скорость подачи прекурсоров в зону осаждения.

Разработанный метод синтеза позволил получить различные массивные материалы и изделия, состоящие из МУНТ. Были выращены макроцилиндры с толщиной стенок до 3,5 мм и размером пор до 10 нм, что позволило создать нанопористые мембраны для фильтрации воды [32].

Методом МО CVD впервые синтезированы гибридные наноматериалы на основе МУНТ. По разработанной технологии методом газофазного осаждения при термическом разложении бисареновых соединений хрома, карбониллов вольфрама и карбониллов молибдена на измельчённые в порошок нанотрубки нанесены покрытия, соответственно, карбидов хрома, вольфрама или молибдена. Полученные наноструктурированные гибриды МУНТ, содержащие карбиды тугоплавких металлов, являются прекрасными прекурсорами для изготовления композиционных материалов.

На этом закончился путь известного учёного, всю свою жизнь посвятившего служению науке. Под руководством Г.А. Домрачева защищено более 50 кандидатских диссертаций, он являлся консультантом 3 докторских диссертаций и автором более 600 научных публикаций.

A LIFE DEVOTED TO SCIENCE. DOMRACHEV GEORGIY ALEKSEYEVICH (1936-2017)

B.I. Petrov, bip@iomc.ras.ru

G.A. Razuvaev Institute of Organometallic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russian Federation

The paper deals with the scientific and educational work of the renowned scientist in the field of organometallic chemistry, Doctor of Science (Chemistry), corresponding member of the Russian Academy of Science, Professor Georgiy Alekseyevich Domrachev, Laureate of State Prize. G.A. Domrachev managed to synthesize organochromium compounds, study their properties, obtain their EPR spectra, confirm their sandwich structure and publish the first papers. Further investigations concerning stability of organometallic compounds of transitional and nontransitional metals in the processes of their synthesis and decomposition made it possible to substantiate the theoretical possibility of the use of organometallic compounds in electronics. The studies of synthesis of mono- and polynuclear organometallic compounds were aimed at demonstration of the theoretical concepts of their stability, developed for purposes of choosing promising compounds for film and coating formation with the help of heterogeneous decomposition reaction of organometallic compounds. G.A. Domrachev was directly involved in turning this field of study into a separate branch of science and chemical engineering.

Keywords: organometallic compounds, catalysis, stabilizer.

References

1. Razuvaev G.A., Sorokin Yu.A., Petukhov G.G., Domrachev G.A. Tsvetkov Yu.L., Molin Yu.N. [On the Structure of Chromorganic Compounds]. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences*. 1957, vol. 113, no 6, 1293 p.
2. Tsvetkov Yu.D., Voevodskiy V.V., Razuvaev G.A., Sorokin Yu.A., Domrachev G.A. [Electronic Paramagnetic Resonance in Some Chromatographic Compounds of Sandwich Structure]. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences*., 1957, vol. 115, no 1, pp. 118–121. (in Russ.)
3. Razuvaev G.A., Gribov B.G., Domrachev G.A., Salamatin B.A. *Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike* [Organometallic Compounds in Electronics]. Moscow: Nauka, 1972, 497 p.
4. Razuvaev G.A., Domrachev G.A., Sharutin V.V., Suvorova O.N. [Ferrocenyl Derivatives of Dicyclopentadienyl-titanium, -zirconium and -hafnium]. *J. of Organometallic Chemistry*, 1977, V. 141, pp. 313–317.
5. Razuvaev G.A., Sharutin V.V., Domrachev G.A., Suvorova O.N. [Izv. AN SSSR, Ser. Khim]. 1978, no. 9, pp. 2177–2178. (in Russ.)
6. Titova S.N. *Sintez i nekotorye svoystva polimetalloorganicheskikh soedineniy, soderzhashchikh svyazi mezhdu metallami podgruppy nikelya i IIB gruppy*. is. kand. khim. nauk [Synthesis and some properties of organometallic compounds containing bonds between metals of the subgroup of nickel and group IIB.Cand. sci.diss.] Gor'kiy, 1981. 127 p.
7. Domrachev G.A. Zakharov L.N., Shevelev Yu.A. [The Stability of Organometallic Compounds During their Synthesis and Decomposition]. *Russ Chem. rev.*, 1985, T. LIV, no. 8, pp. 739–754. DOI: 10.1070/RC1985v054n08ABEH003108.
8. Zakharov L.N., Kuznetsov N.T., Sevast'yanov V.G., Mitin V.A., Krasnodubskaya S.V., Domrachev G.A. *Vysokochistye Veshchestva* [High-purity substances]. 1987, V. 1, 94 p. (in Russ.)
9. Gribov B.G., Domrachev G.A., Zhuk B.V., Kaverin B.S., Kozyrkin B.I., Mel'nikov V.V., Suvorova O.I. *Osazhdenie Plenok i Pokrytiy Razlozheniem Metalloorganicheskikh Soedineniy* [Deposition of Films and Coatings by Decomposition of Organometallic Compounds]. Moscow: Nauka, 1981, 322 p. (in Russ.)
10. *Metalloorganicheskie soedineniya dlya polucheniya metallicheskikh i oksidnykh pokrytiy: Tezisy dokladov I Vsesoyuznogo soveshchaniya* [Organometallic Compounds for Metal and Oxide Coatings: Abstracts of the I All-Union Conference]. Gor'kiy. 1974. 124 p.
11. *Metalloorganicheskie soedineniya dlya polucheniya metallicheskikh i oksidnykh pokrytiy. Tezisy dokladov II Vsesoyuznogo soveshchaniya* [Organometallic Compounds for Metal and Oxide Coatings: Abstracts of the II All-Union Conference]. Moscow: Nauka, 1977. 158 p.
12. *Metalloorganicheskie soedineniya dlya polucheniya metallicheskikh i oksidnykh pokrytiy. Tezisy dokladov III Vsesoyuznogo soveshchaniya* [Organometallic Compounds for Metal and Oxide Coatings: Abstracts of the III All-Union Conference]. Gor'kiy. 1980. 190 p.
13. *Tezisy dokladov IV Vsesoyuznogo soveshchaniya «Primenenie metalloorganicheskikh soedineniy dlya polucheniya neorganicheskikh pokrytiy i materialov»* [The use of Organometallic Compounds for Inorganic Coatings and Materials: Abstracts of the IV All-Union Conference]. Moscow: Nauka, 1983. 216 p.
14. *Primenenie metalloorganicheskikh soedineniy dlya polucheniya neorganicheskikh pokrytiy i materialov. Tezisy dokladov V Vsesoyuznogo soveshchaniya* [The use of Organometallic Compounds for Inorganic Coatings and Materials: Abstracts of the V All-Union Conference]. Moscow: Nauka, 1987. 272 p.
15. *Primenenie metalloorganicheskikh soedineniy dlya polucheniya neorganicheskikh pokrytiy i materialov». Tezisy dokladov VI Vsesoyuznogo soveshchaniya* [The use of Organometallic Compounds for Inorganic Coatings and Materials: Abstracts of the VI All-Union Conference]. N. Novgorod, 1991, vol. I. 172 p., vol. II. 128 p.
16. Domrachev G.A. *Metalloorganicheskie Soedineniya i Radikaly* [Organometallic Compounds and Radicals]. Moscow: Nauka, 1985. 138 p.
17. Syrkin V.G. *CVD-metod. Khimicheskoe Parofaznoe Osazhdenie* [CVD method. Chemical vapor deposition]. Moscow: Nauka, 2000. 496 p.
18. *Osazhdenie iz gazovoy fazy* [Precipitation from the Gas Phase: translated from English]. Pod red. Pauela K., Okli Dzh., Blogoer-ml Dzh. Moscow: Atom izdat, 1970, 472 p. (in Russ.)
19. Nefedov O.M. (Ed.) *Vospominaniya ob akademike Grigorii Alekseeviche Razuvaeve* [Memories of Academician Grigory Alexeevich Razuvaev]. Moscow: Nauka, 1994. 352 p.
20. Petrov B.I. *Termicheskie reaktsii metalloorganicheskikh soedineniy kak put' polucheniya novykh soedineniy, materialov i pokrytiy*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Thermal Reactions of Organometallic Compounds as a Way of Obtaining New Compounds, Materials, and Coatings. Doct. Sci. diss.]. N. Novgorod, 2001, 282 p. (in Russ.)

21. Domrachev G.A., Suvorova O.I. [The Formation of Inorganic Coatings in the Decomposition of Organometallic Compounds] *Russ. Chem. rev.*, 1980, Vol. 49, no. 9, pp. 810–819. DOI: 10.1070/RC1980v049n09ABEH002507.

22. Razuvaev G.A. *Primenenie Metalloorganicheskikh Soedineniy Dlya Polucheniya Neorganicheskikh Pokrytiy i Materialov*. [The Application of Organometallic Compounds for Obtaining Inorganic Coatings and Materials]. Gor'kiy: Institut khimii AN SSSR, Moscow: Nauka, 1986, 256 p. (in Russ.)

23. Zhuk B.V. [The Deposition of Epitaxial Layers from the Vapour of Organometallic Compounds]. *Russ Chem. rev.*, 1985, vol. 54, no. 8, pp. 770–785. DOI: 10.1070/RC1985v054n08ABEH003110.

24. Slushkov A.M., Petrov B.I., Domrachev G.A. *Izv. AN SSSR. Ser. Khimiya* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences]. 1985, no. 6, 1413 p. (in Russ.)

25. Slushkov A.M., Petrov B.I., Domrachev G.A. *Izv. AN SSSR. Ser. Khimiya* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences]. 1987, no. 2, 427 p. (in Russ.)

26. Petrov B.I., Slushkov A.M., Domrachev G.A., Razuvaev G.A. *Dokl. AN SSSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences]. 1987, Vol. 292, no. 5, 1146 p. (in Russ.)

27. Petrov B.I., Slushkov A.M., Kaplin A.Yu., Domrachev G.A. *Izv. AN SSSR. Ser. Khimiya* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences]. 1986, no. 2, 728 p. (in Russ.)

28. Slushkov A.M., Petrov B.I., Domrachev G.A., Razuvaev G.A. *Metalloorganicheskaya Khimiya* [Organometallic chemistry]. 1988, vol. 1, no. 3, 534 p. (in Russ.)

29. Petrov B.I., Slushkov A.M., Kaplin A.Yu., Domrachev G.A. *Izv. AN SSSR, Ser. Khimiya* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences]. 1986, no. 2, 728 p. (in Russ.)

30. Domrachev G.A., Shevelev Yu.A., Cherkasov V.K., Fukin G.K., Khorshev S.Ya., Markin G.V., Kaverin B.S., Karnatsevich V.L., Kirkin G.A. *Dokl. AN* [Doklady Chemistry]. 2004, vol. 395, pp. 1–3. (in Russ.)

31. Domrachev G.A., Shevelev Yu.A., Cherkasov V.K., Markin G.V., Fukin G.K., Khorshev S.Ya., Kaverin B.S. *Izv. AN Ser. Khim.* [Russian Chemical Bulletin]. 2004, 1973–1975 p. (in Russ.)

32. Egorov V.L. *Novye gibrnidnye materialy na osnove uglerodnykh nanotrubok*. Dis. kand. khim. nauk [New hybrid materials based on carbon nanotubes. Cand. sci. diss]. N. Novgorod, 2012. 163 p.

Received 30 December 2017

Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry. 10(2) 62-70, 2018

Книги

1. Г. А. Разуваев, Б. Г. Грибов, Г. А. Домрачев, Б. А. Саламатин, *Металлоорганические соединения в электронике*. М.: Наука, 1972.
2. Б.Г. Грибов, Г.А. Домрачев, *Осаждение пленок и покрытий разложением металлоорганических соединений*. М.: Наука, 1981.

Обзоры

1. Г. А. Домрачев, Л. Н. Захаров, Ю. А. Шевелев, *Устойчивость металлоорганических соединений в процессах их синтеза и распада*. Усп. хим., 54:8 (1985), 1260–1286 [G. A. Domrachev, L. N. Zakharov, Yu. A. Shevelev, *The Stability of Organometallic Compounds During Their Synthesis and Decomposition*. Russian Chem. Reviews, 54:8 (1985), 739–754]
2. Г. А. Домрачев, О. Н. Суворова, *Получение неорганических покрытий при разложении металлоорганических соединений*. Усп. хим., 49:9 (1980), 1671–1686 [G. A. Domrachev, O. N. Suvorova, *The Formation of Inorganic Coatings in the Decomposition of Organometallic Compounds*. Russian Chem. Reviews, 49:9 (1980), 810–819]
3. Г. А. Домрачев, В. Д. Зиновьев, *Реакции переходных металлов в атомарном состоянии*. Усп. хим., 47:4 (1978), 679–704 [G. A. Domrachev, V. D. Zinov'ev, *Reactions of Transition Metals in the Atomic State*. Russian Chem. Reviews, 47:4 (1978), 354–367]