

546

E 85

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

ЕСМАИЕЛ Ебрахим Бен Ассад

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ДИОКСИДА ТИТАНА И
КОМПОЗИТОВ TiO_2-Pd , ПОЛУЧАЕМЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Специальность - 02.00.01 - неорганическая химия

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Минск 1991

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени государственном университете имени В.И.Ленина.

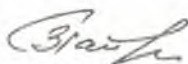
Научные руководители:	Академик АН РБ, доктор химических наук, профессор Свиридов В.В.; кандидат химических наук, доцент Мальченко С.Н.
Официальные оппоненты:	доктор химических наук, профессор Башкиров Л.А.; кандидат химических наук Кононюк И.Ф.
Ведущая организация	Институт физико-органической химии АН РБ, г.Минск

Защита состоится "19" декабря 1991 года в 14 часов на заседании специализированного совета К 056.01.04 при Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова (220050, г. Минск-50, ул. Свердлова, 13^а, корп. 4, ауд. 240).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БТИ имени С.М.Кирова.

Автореферат разослан " " ноября 1991 года.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук



С. А. Гайлевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы наблюдается интенсивное развитие новых видов технологии приготовления неорганических материалов в связи с необходимостью решения сложных технических задач в области создания неорганических сорбентов, пленочных покрытий, химических сенсоров, гетерогенных катализаторов, неорганических мембран, технологии оптических волокон и др. Среди них одним из перспективных направлений является золь-гель процесс.

В Белгосуниверситете разработан новый подход к приготовлению структур оксид-металл в виде керамики и пленок, в основе которого положен принцип одновременного формирования оксидной и металлической фаз. В подобных неорганических материалах частицы металла оказывают заметное влияние на характер протекания кристаллизационных процессов и фазовых переходов в оксиде. В свою очередь фаза оксида существенным образом влияет на свойства частиц металла: термическую устойчивость, дисперсность, каталитическую активность и др. В связи с этим изучение методов приготовления структур металл-оксид, в которых формирование обеих фаз происходит одновременно, с использованием золь-гель технологии, представляет несомненный научный и прикладной интерес.

Исследование пленок металл-оксид приобретает дополнительное значение, поскольку они представляют интерес для неорганической химии и химии твердого тела в плане изучения структуры и свойств частиц оксида и металла и характера их взаимодействия. Такие пленки представляют собой удобную модель металл-нанесенных катализаторов, поверхности чувствительного элемента термокаталитических и полупроводниковых сенсоров. Для целенаправленного регулирования их свойств важно располагать информацией о структуре, влиянии способа введения металла в оксид и условий получения пленок.

В связи с актуальностью решения ряда научно-прикладных задач, связанных с охраной окружающей среды, контролем, диагностикой и управлением производства, возрастает необходимость в создании новых и улучшения существующих химических сенсоров. Перспективным направлением уменьшения энергопотребления, повышения селективности термокаталитических сенсоров является предложенный в диссертации метод формирования каталитически активных структур металл-оксид из стабилизированных золей гидроксидов металлов

Цель работы - изучение особенности формирования структур и свойств TiO_2 и TiO_2-Pd в виде порошков, керамики и пленок с использованием стабилизированных золь гидратированного диоксида титана (IV) и оценка возможности их использования для создания термokatалитических сенсоров с улучшенными характеристиками.

Научная новизна работы. Разработан вариант золь-гель метода получения поликристаллического TiO_2 и композитов TiO_2-Pd с использованием золь гидратированного диоксида титана (ГДТ), стабилизированного уксусной кислотой. Проведено систематическое исследование особенностей формирования, структуры и свойств порошков и пленок TiO_2 и TiO_2-Pd .

Показано, что уксусная кислота, наряду со стабилизацией коллоидных частиц ГДТ в золе, оказывает существенное влияние на структурные свойства диоксида титана, температуру его спекания и фазового перехода анатаза в рутил.

Установлено, что рост микрокристаллов TiO_2 существенно ускоряется при температурах прогрева 770 К и выше после удаления воды и продуктов пиролиза ацетат-ионов, одновременно происходит резкое уменьшение удельной поверхности и увеличение пористости образцов. При температуре прогрева 770 К практически заканчивается фазовый переход анатаза в рутил. Снижение температуры фазового перехода, сопровождаемого интенсификацией процесса спекания микрокристаллов TiO_2 , обусловлено увеличением концентрации точечных дефектов в диоксиде титана в результате его частичного восстановления продуктами пиролиза ацетат-ионов. Выявлено, что в условиях, когда происходит интенсивный рост микрокристаллов TiO_2 , их срастание протекает преимущественно по границам соприкасающихся граней.

Установлено, что в образцах TiO_2-Pd , полученных из стабилизированных золь гидратированного диоксида титана, снижается температура пиролиза ацетат-ионов, замедляется рост микрокристаллов диоксида титана и повышается температура фазового перехода анатаза в рутил.

Показана возможность использования стабилизированного золя ГДТ для получения тонких прозрачных пленок TiO_2 и TiO_2-Pd , представляющих интерес в качестве модельных объектов для изучения процессов, протекающих в этих структурах, а также для приготовления чувствительных элементов химических сенсоров. Установлено сходство процессов, протекающих в пленках и порошках TiO_2 и

TiO_2 -Pd. Показано, что частицы палладия в пленках TiO_2 , полученных золь-гель методом, более устойчивы по отношению к процессу спекания (тормозится процесс увеличения размера частиц и больше их поверхностная концентрация), чем в том случае, когда они сформированы на поверхности микрокристаллов TiO_2 методом пропитки.

Практическая значимость работы. Показана перспективность использования стабилизированных золь ГДТ в технологии изготовления термokatалитических сенсоров с уменьшенным энергопотреблением и высокой селективностью к оксиду углерода в присутствии метана.

На защиту выносятся:

1. Результаты исследования закономерностей формирования, структуры и свойств порошков TiO_2 и TiO_2 -Pd золь-гель методом с использованием стабилизированного уксусной кислотой коллоидного раствора гидратированного диоксида титана с добавкой и без добавки хлорида палладия, влияние способа введения палладия на структуру и свойства TiO_2 .

2. Результаты исследования закономерностей формирования пленок TiO_2 и TiO_2 -Pd, влияние условий прогрева в водороде на свойства частиц металла и структуру TiO_2 .

3. Способ приготовления термokatалитического сенсора с использованием золь ГДТ, характеризующегося уменьшенным энергопотреблением и повышенной чувствительностью к CO в присутствии метана.

Апробация работы.

Материалы диссертации докладывались на республиканской конференции молодых ученых и специалистов.

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в 2 научных статьях и I тезисе доклада республиканской конференции.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 190 страницах машинописного текста и включает 16 таблиц, 50 рисунков и список литературы (176 наименований литературных источников).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлен обзор литературы, отражающей современное состояние исследований в области золь-гель технологии

формирования керамики, порошков и пленок. Анализ литературных данных свидетельствует о том, что принципы золь-гель метода получения неорганических материалов достаточно хорошо известны. В то же время особенности процесса формирования керамики и пленок, а также их физико-химические свойства изучены недостаточно полно. Вышесказанное в полной мере относится к стабилизированным золям, полученным методом пептизации оксидов и гидроксидов.

Большое внимание в литературном обзоре уделено результатам исследования структуры и свойств ГДТ. Отмечается, что структура и свойства ГДТ существенным образом зависят от способа и условий его получения. Рассмотрены процессы, протекающие при гидролизе растворов солей титана (IV), высказаны обоснованные суждения о строении ГДТ, закономерностях его термической дегидратации и протекании кристаллизационных и фазовых превращений. Отмечается, что в литературе имеются ограниченные сведения о структуре и свойствах TiO_2 , полученного из стабилизированных золь ГДТ, синтезированных из неорганических предшественников методом пептизации. Не выяснены отличия свойств неорганических материалов на основе TiO_2 , полученных по золь-гель технологии и традиционным гель-методом.

Вторая глава посвящена рассмотрению методики получения порошков, керамики и пленок TiO_2 и TiO_2-Pd из стабилизированных золь ГДТ. Для сравнения исследовались также порошки TiO_2 и TiO_2-Pd , получаемые из гелей ГДТ и совместным осаждением гидроксидов титана (IV) и палладия (II). Содержание палладия в образцах составляло 5% масс. Температура прогрева образцов варьировалась от 350 до 1070 К.

При выполнении диссертационной работы использовались методы просвечивающей и растровой электронной микроскопии, электронографии, рентгенографии (РГ), термического анализа, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), метод БЭТ для измерения удельной поверхности образцов. Кроме того, были использованы методики определения активности TiO_2 и TiO_2-Pd катализаторов и газочувствительности термокаталитических сенсоров.

В третьей главе представлены экспериментальные данные, посвященные изучению особенностей формирования, структуры и свойств порошков TiO_2 и TiO_2-Pd , полученных из стабилизированных уксусной кислотой золь ГДТ и проведено их обсуждение.

Установлено, что область максимальной седиментационной устойчивости золя достигается при мольном отношении $TiO_2:CH_3COOH$ в ин-

тервале от 1:0,8 до 1:0,24. Простое смешение влажного осадка ГДТ с CH_3COOH не приводит к получению устойчивых золей и лишь при применении ультразвукового диспергирования (частоты 22 и 44 кГц) происходит образование стабильных золей. Оптимальной температурой пептизации является 290 К, что, по-видимому, связано с возможностью протекания процессов старения в коллоидных частицах ГДТ, приводящих к уменьшению устойчивости золя.

Из результатов рентгенографического и электронографического исследований следует, что образцы ксерогелей ГДТ, полученные из золей имеют слабозакристаллизованную структуру, которая соответствует структуре анатаза. Отсутствие на дифрактограммах дополнительных линий, которые могли бы соответствовать продуктам взаимодействия ацетат-ионов с ГДТ, а также присутствие ацетат-ионов в образцах при температурах выше кипения CH_3COOH , о чем свидетельствуют данные термогравиметрического анализа, позволяют предположить, что ионы CH_3COO^- находятся на поверхности ГДТ в хемосорбированном состоянии.

Термогравиметрический анализ свидетельствует о стадийном удалении воды из образцов ксерогеля ГДТ при их термообработке. Отличительной особенностью формирования TiO_2 из золя ГДТ является одновременное протекание процессов дегидратации и пиролиза ацетат-ионов в температурном интервале 570–770 К. Результаты рентгенофазового анализа указывают на существенное снижение температуры фазового перехода анатаза в рутил при использовании золь-гель метода получения TiO_2 . Результаты выполненного ЭПР-исследования показали, что в спектрах образца, полученного из золя ГДТ и прогретого при 770 К, присутствует сигнал, который можно приписать ионам Ti^{3+} . В образце, приготовленном в аналогичных условиях гель-методом, этот сигнал либо полностью отсутствует, либо имеет значительно меньшую (в 60 раз) интенсивность. Полученные данные свидетельствуют о том, что TiO_2 , полученный золь-гель методом, имеет более дефектную структуру в результате частичного восстановления его поверхности при термообработке продуктами пиролиза CH_3COO^- -ионов, в окислении которых участвует решеточный кислород оксида титана.

Характерной особенностью процесса формирования TiO_2 золь-гель методом является более интенсивное спекание его микрокристаллов по сравнению с TiO_2 , полученным гель-методом (табл.). Рост микрокристаллов TiO_2 существенно ускоряется при температу-

Таблица

Влияние температуры прогрева на значения $S_{уд}$, ОКР, $d_{ср}$ и фазовый состав образцов TiO_2 и TiO_2-Pd

Т, К	Гель метод				Золь-гель метод			
	TiO_2	TiO_2	TiO_2	TiO_2	TiO_2	TiO_2	TiO_2-Pd	TiO_2-Pd
	$S_{уд}$ г/м ²	ОКР	$d_{ср}$ нм	фаз. состав	$S_{уд}$ г/м ²	ОКР	$d_{ср}$ нм	фаз. состав
350	216	-	7	A	202	-	4	A
570	97	7	18	A	127	6	19	A
770	59	10	40	A	32	29	47	P
870	52	12	-	A	18	35	-	P
1070	5.3	76	200	P	0.6	200	400	P
					0.3	150	380	P

1
∞
1

рах прогрева 770 К и выше, после удаления воды и продуктов пиролиза ацетат-ионов. Одновременно происходит резкое уменьшение удельной поверхности и увеличение пористости образцов. При температуре прогрева 770 К практически заканчивается фазовый переход анатаза в рутил. Снижение температуры фазового перехода, сопровождаемого интенсификацией процесса спекания микрокристаллов TiO_2 , обусловлено увеличением концентрации точечных дефектов в диоксиде титана в результате его частичного восстановления продуктами пиролиза ацетат-ионов. Выявлено, что в условиях, когда происходит интенсивный рост микрокристаллов TiO_2 , их срачивание протекает преимущественно по границам соприкасающихся граней.

Причинами более интенсивного спекания микрокристаллов могут являться удаление в результате пиролиза ацетат-ионов и образование вследствие этого при повышенных температурах мелких частиц диоксида титана, обладающих большим запасом свободной энергии и лишенных защитного слоя, рост концентрации точечных дефектов, а также образующиеся в микрокристаллах области локальных перегревов в условиях полиморфного превращения.

Введение хлорида палладия в золь ГДТ приводит к замедлению роста микрокристаллов диоксида титана и повышает температуру фазового перехода (табл.). Одновременно происходит снижение температуры пиролиза ацетат-ионов и повышение температуры, соответствующей полному удалению воды из TiO_2 . Проведенное рентгенографическое исследование показало, что параметры элементарной ячейки диоксида титана с добавкой (5% масс) и без добавки палладия практически не отличаются. С учетом полученных данных можно предположить, что основной причиной замедления скорости роста микрокристаллов TiO_2 является образование на их поверхности мелких частиц Pd и PdO , которые создают на поверхности микрокристаллов TiO_2 энергетические барьеры, препятствующие их спеканию. Важно отметить, что палладий в виде металлической фазы рентгенографически идентифицируется при достаточно низких температурах прогрева, когда, согласно литературным данным, не происходит разложение хлоридных комплексов палладия. Восстановление ионов Pd^{2+} в этих условиях можно объяснить участием в реакции ацетат-ионов. Образование PdO происходит вследствие окисления дисперсных частиц Pd кислородом воздуха.

Проведено исследование влияния способа введения палладия (золь-гель метод, метод совместного осаждения гидроксидов палла-

дия(II) и титана(IV), метод пропитки) на структуру и свойства образцов TiO_2-Pd . Установлено, что независимо от способа введения палладия во всех трех образцах замедляется скорость роста микрокристаллов TiO_2 и повышается температура фазового перехода. В температурном интервале 350–870 К размеры микрокристаллов всех образцов сопоставимы. Однако при 1070 К они располагаются в ряду: совместное осаждение ~ гель-метод < золь-гель метод. Способ введения палладия влияет на фазовый состав образцов TiO_2-Pd . Так, в образцах, полученных гель-методом, металлический палладий рентгенографически фиксируется в температурном интервале 770–870 К и полностью окисляется при 970 К. В образцах, полученных золь-гель методом, уже при 770 К весь палладий находится в форме PdO . В TiO_2-Pd , полученном совместным осаждением, палладийсодержащая фаза (PdO) появляется при 770 К и сохраняется до 1070 К. Температура фазового перехода в TiO_2 возрастает в ряду: золь-гель метод < гель-метод < метод совместного осаждения. В образцах не обнаружено образование твердых растворов и соединений палладия с TiO_2 .

В четвертой главе изложены и обсуждены результаты исследования закономерностей формирования и свойств пленок TiO_2 и TiO_2-Pd из стабилизированных зольей.

Исследовавшиеся пленки были оптически прозрачны, обладали хорошей адгезией к подложке. Толщина пленок составляла 130 ± 20 нм. Результаты электронно-микроскопического исследования свидетельствуют о мелкокристаллической структуре пленок. Так, пленки, полученные при температуре прогрева 720 К, состоят из отдельных микрокристаллов TiO_2 , размер которых колеблется от 4 до 30 нм. Средний диаметр их достигает 8 нм. Увеличение температуры прогрева приводит к росту микрокристаллов TiO_2 , который интенсивно протекает при температурах 870–1070 К. Средний размер их возрастает до 50 и 260 нм соответственно. Спекание микрокристаллов протекает преимущественно по границам соприкасающихся граней.

Сопоставление полученных результатов свидетельствует о сходстве протекания процессов при формировании пленок и порошков TiO_2 из зольей ГДТ, однако, в отличие от порошков, в пленках TiO_2 при 720 К электронографически фиксируется образование нестехиометрического оксида, состав которого можно представить как Ti_4O_7 .

Введение $PdCl_2$ в золь ГДТ тормозит рост микрокристаллов оксида и фазовый переход анатаза в рутил. В пленках, прогретых в водороде, помимо TiO_2 , Ti_4O_7 и Pd^0 дополнительно появляется

фаза, которую можно отнести к $PdTi_2O_7$.

Частицы палладия в пленках TiO_2-Pd , приготовленных из золя ГДТ, распределены по всей поверхности микрокристаллов оксида с преимущественной локализацией на границе контакта микрокристаллов TiO_2 и дефектов поверхности (трещины, выступы и др.). Независимо от содержания палладия в пленках при 770К ($10^{-6}-10^{-5}$ г/см²) основное количество частиц имеют размеры ≤ 10 нм, что свидетельствует о их высокой дисперсности.

Средние размеры частиц Pd в пленках TiO_2 , прогретых при 770 и 1070 К в атмосфере водорода составляют соответственно 7,4 и 12,5 нм. Процесс спекания частиц, по данным электронно-микроскопического исследования, является сложным процессом, протекающим по атомному механизму и механизму, включающему миграцию частиц и их последующую коалесценцию. При формировании частиц Pd методом пропитки их распределение по поверхности пленки менее равномерно. Поверхностная концентрация частиц при 770 К выше, чем в пленках, приготовленных золь-гель методом при их сопоставимой дисперсности. Это может быть связано с тем, что в пленках, приготовленных из золя ГДТ, частицы палладия формируются не только на поверхности, но и в объеме. При увеличении температуры до 1070 К в пленках, приготовленных методом пропитки, происходит резкое увеличение (более чем в 6 раз) $d_{ср}$ и уменьшение на два порядка поверхностной концентрации.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что золь-гель метод, включающий совместное формирование оксидной и металлической фаз, обеспечивает благоприятные условия для формирования пленок TiO_2-Pd с высокодисперсным и равномерным распределением частиц Pd , которые более устойчивы к спеканию по сравнению с теми же частицами, но сформированными на поверхности пленки методом пропитки.

В пятой главе рассмотрены результаты исследования возможности использования стабилизированных зольей ГДТ для создания термокаталитических сенсоров с улучшенными характеристиками.

Установлено, что при использовании золь-гель технологии формирования чувствительного элемента на стадии гелеобразования и последующей усадки керамики TiO_2 происходит уменьшение размеров чувствительного элемента вследствие стягивания витков металлического терморезистора. Полученные сенсоры характеризуются меньшим (в полтора-два раза) энергопотреблением по сравнению с

промышленновыпускаемыми, что позволит существенно увеличить время работы портативных газосигнализаторов и течейскаателей.

Проведенные исследования показали, что TiO_2-Pd -катализатор, приготовленный по золь-гель технологии из стабилизированного золя ГДТ, характеризуется высокой активностью в реакции глубокого окисления CH_4 и CO . Вместе с тем температурные области реакций окисления этих веществ существенно различаются. Установлено, что использование в термokatалитических сенсорах TiO_2-Pd -катализатора, изготовленного с использованием стабилизированного золя ГДТ, при рабочей температуре чувствительного элемента ниже температуры реакции окисления метана, позволяет селективно определять концентрацию CO в воздушной атмосфере.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан новый вариант золь-гель метода получения поликристаллических порошков, пленок и керамики TiO_2 и TiO_2-Pd с использованием стабилизированных уксусной кислотой золь гидратированного диоксида титана. Исследовано влияние соотношения $TiO_2:CH_3COOH$, температуры пептизации и ультразвука на свойства золь ГДТ. Установлено, что максимальная седиментационная устойчивость золя достигается при массовых соотношениях $TiO_2:CH_3COOH$ в интервале от 1:0,2 до 1:0,6. Увеличение температуры пептизации выше 290 К приводит к уменьшению, а использование ультразвукового диспергирования на стадии пептизации - к повышению концентрации дисперсной фазы в золе. Показано, что уксусная кислота, наряду со стабилизацией коллоидных частиц ГДТ в золе, оказывает существенное влияние на структурные свойства диоксида титана, температуру его спекания и фазового перехода анатаза в рутил.

2. Изучены закономерности роста микрокристаллов TiO_2 , полученных из стабилизированных уксусной кислотой золь гидратированного диоксида титана. Показано, что рост микрокристаллов TiO_2 существенно ускоряется при температурах прогрева 770 К и выше после удаления воды и продуктов пиролиза ацетат-ионов, одновременно происходит резкое уменьшение удельной поверхности и увеличение пористости образцов. При температуре прогрева 770 К практически заканчивается фазовый переход анатаза в рутил. Снижение температуры фазового перехода, сопровождаемого интенсификацией процесса спекания микрокристаллов TiO_2 , обусловлено увели-

чением концентрации точечных дефектов в диоксиде титана в результате его частичного восстановления продуктами пиролиза ацетат-ионов. Выявлено, что в условиях, когда происходит интенсивный рост микрокристаллов TiO_2 , их срачивание протекает преимущественно по границам соприкасающихся граней.

3. Установлено, что в образцах TiO_2-Pd , полученных из стабилизированных золь ГДТ, содержащих в небольших количествах хлорид палладия, происходит замедление роста микрокристаллов диоксида титана и повышается температура фазового перехода анатаза в рутил. При прогреве на воздухе палладий выделяется в виде отдельной фазы (металлический палладий, либо оксид палладия в зависимости от температуры прогрева). В присутствии палладия снижается температура пиролиза ацетат-ионов и повышается температура, соответствующая полному удалению воды из TiO_2 .

4. Показано, что структура и фазовый состав образцов TiO_2-Pd в существенной мере зависят от способа введения палладия. Вместе с тем для всех образцов характерно замедление роста микрокристаллов TiO_2 и повышение температуры фазового перехода, которая возрастает в ряду: золь-гель метод < гель-метод < метод совместного осаждения. Различия в дисперсности микрокристаллов TiO_2 проявляются при температуре прогрева 1070 К и выше. Более дисперсными являются образцы, сформированные методом совместного осаждения.

5. Показана возможность использования стабилизированного золя ГДТ для получения тонких прозрачных пленок TiO_2 и TiO_2-Pd , представляющих интерес в качестве модельных объектов для изучения процессов, протекающих в этих структурах, а также для приготовления чувствительных элементов химических сенсоров. Установлено сходство процессов, протекающих в пленках и порошках TiO_2 и TiO_2-Pd . Отличием пленок является появление в них при 770 К новой фазы, которую можно отнести к Ti_4O_7 . Палладий распределен в пленке равномерно в виде мелкодисперсных и достаточно однородных частиц. Выявлено, что частицы палладия в пленках TiO_2 , полученных золь-гель методом, более устойчивы по отношению к процессу спекания (тормозится процесс увеличения размера частиц и больше их поверхностная концентрация), чем в том случае, когда они сформированы на поверхности микрокристаллов TiO_2 методом пропитки.

6. Исследована возможность использования стабилизированных золь гидратированного диоксида титана в технологии приготовления термokatалитических сенсоров. Установлено, что сенсоры, изгото-

товленные с использованием стабилизированных золей гидратированного диоксида титана, характеризуется в два раза меньшим энергопотреблением по сравнению с промышленными. Применение в чувствительном элементе сенсора TiO_2-Pd -катализатора, приготовленного золь-гель методом, позволяет использовать сенсор для селективного определения CO в воздушной атмосфере, содержащей метан.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Есмаиел Е. (САР), Мальченко С.Н., Байков М.В., Дяхов А.С., Мычко Д.И. Исследование свойств диоксида титана, полученного золь-гель методом // Вестник БГУ. Сер. 2. Хим., биол., геогр. - 1991. - С. 7-14.

2. Есмаиел Е. Особенности формирования TiO_2 из стабилизированных золей гидратированного диоксида титана // Актуальные вопросы химии: Тезисы докладов II республиканской конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. - Минск, 29-31 мая 1991 г. - С. 18-19.

3. Мальченко С.Н., Есмаиел Е., Ивановская М.И., Байков М.В., Дяхов А.С. Свойства TiO_2 , полученного из стабилизированного золь-геля гидроксида титана (IV) // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. - 1991. - Т. 27. - № II. - С. 2327-2331.

Подписано к печати 20.11.91. . Формат 60x84/16. Бумага № 3.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,9 . Уч.-изд.л. 0,6 .
Тираж 100 экз. Заказ № 858 Бесплатно.

Отпечатано на ротаприте БГУ имени В.И.Ленина.
220080, Минск, Бобруйская, 7.