Министерство образования Республики Беларусь

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.762

№ госрегистрации 20113538

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
УО «ВГТУ»,
д.э.н., профессор
Е.В.Ванкевич

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ С ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

ГБ 385Д
(заключительный)

ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы»
Подпрограмма «Наноматериалы и нанотехнологии»
Подзадание 2.5.01.5 Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы

Научный руководитель НИР,
доцент, к.т.н. 20.12.2013 И.С.Алексеев

Начальник НИЧ 20.12.2013 С.А.Беликов

Витебск 2013

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:

Доцент, кандидат техн. наук _____ 20.12.2013 И.С.Алексеев
подпись, дата

Исполнители темы:

Вед. научн. сотр.
кандидат хим. наук _____ 17.12.2013 С.Г.Степин
подпись, дата

Старш. научн. сотр.
кандидат хим. наук _____ 17.12.2013 Н.И.Миклис
подпись, дата

Инженер _____ 17.12.2013 В.С.Алексеева
подпись, дата

Лаборант _____ 17.12.2013 А.Н. Лебедев
подпись, дата

Лаборант _____ 17.12.2013 Е.В. Цымбалко
подпись, дата

Нормоконтроль _____ 16.12.2013 А. Н. Голубев
подпись, дата

БІБЛІЯТЭКА
УА «ВІЦЕБСКІ ДЗЯРЖАЎНЫ
ТЭХНАЛАГІЧНЫ УНІВЕРСІТЭТ»
інв. №

РЕФЕРАТ

Отчет 241с., 97 рис., 17 табл., 135 источников, 3 прил.

ФОТОКАТАЛИЗ, ФОТОКАТАЛИЗАТОРЫ, ДИОКСИД ТИТАНА TiO_2, ЛЕГИРОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ, ОЧИСТИТЕЛИ ВОЗДУХА, РАЗЛОЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Объектом исследования являются фотокаталитические нанопокрытия.

Цель работы - получение и исследование наноматериалов с фотокаталитическими свойствами.

В результате анализа влияния легирующих элементов на фотокаталитические свойства покрытия из диоксида титана установлено, что легирование диоксида титана сдвигает спектр активации в зону видимого света до 390нм $\leq \lambda <$ 650нм. Установлено, что наиболее перспективным, в плане практической реализации и возможности реализации в процессе ионно – плазменного напыления является легирование диоксида титана атомами неметаллов N .

В процессе работы получены фотокталитические покрытия, активные при видимом свете с длиной волны $\lambda >$ 390 нм. Установлено, что наибольшей активностью при видимом свете обладают покрытия TiO_2 –TiNO.

Из анализа кристаллической структуры покрытий и влияния легирования на состав покрытий установлено, что наиболее эффективным методом контроля состава покрытий является оптический контроль за процессом реактивного магнетронного распыления (РМР).

Разработан технологический процесс нанесения покрытий на базе TiO_2 –TiNO магнетронным распылением.

В процессе работы разработаны методики по исследованию бактерицидных свойств фотокаталитических покрытий и свойств по разложению вредных органических примесей в воздухе. Исследовано бактерицидное свойство фотокаталитических покрытий, фотокаталитическое окисление паров разных классов органических соединений на нанопленках диоксида титана, а также свойства покрытий по очистке воздуха от вредных газов.

Выполнен обзор установок для фотокаталитической очистки воздуха. Разработана конструкторская документация опытной установки для очистки воздуха от вредных органических примесей и микробной зараженности.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение……	8
1	Принципы фотокаталитических реакций…….……..	10
1.1	Эффективность действия фотокатализатора……..	11
1.2	Практическое применение фотокатализа……	13
2	Обоснование влияния легирующих элементов на фотокаталитические свойства покрытия из диоксида титана……..	13
2.1	Значения запрещенной зоны известных фотокатализаторов…….……	13
2.2	Увеличение фотоактивности чистого TiO_2……	14
2.3	Оптимизация величины частиц……	15
2.4	Оптимизация кристаллической структуры……	15
2.5	Увеличение фотоактивности TiO_2 легированием……..	16
2.6	Ионное легирование……..……	17
2.7	Диффузионное легирование…….……..	18
2.8	Легирование неметаллами …….….....	20
2.9	Нанокомпозитные сплавы полупроводников ……..…..	20
3	Методы получения фотокаталитического активного TiO_2…….……..	21
3.1	Методы осаждения из газовой фазы ……..……..	21
3.2	Синтез из жидкой фазы ……	21
3.2.1	Технологические процессы осаждения из растворов …….……..	22
3.3	Магнетронное распыление ……..……	22
3.3.1	Описание установки …….……	22
3.3.1.1	Принцип нанесения покрытий ……...……	26
3.3.1.2	Назначение ……...……	27
3.3.1.3	Основные технические характеристики комплекса ……..……..	28
4	Анализ влияния влияния режимов нанесения нанопокрытий из диоксида титана на фотокаталитические свойства……	30
4.1.	Методы определения фотокаталитической активности……..	33
4.1.1	Определение фотокаталитической активности фотоколориметрическим методом…….……	33
4.1.2	Определение фотокаталитической активности методом иодометрического титрования…….……	33
4.1.3	Определение фотокаталитической активности методом фотокаталитического	

	выделения серебра……	35
5	Анализ влияния спектров источников света на фотокаталитическую активность легированных нанопокрытий из диоксида титана ……..	39
6	Структура и свойства TiO_2…….…….……	40
6.1	Кристаллическая структура ……..…….……	40
6.2	Химические свойства ……...……	43
6.3	Физические, термодинамическе свойства…….…….……	45
7	Исследование состава покрытий путем изменения технологических параметров процесса нанесения ……..	48
8	Технологический процесс получения фотокаталитических нанопокрытий методом ионоплазменного магнетронного напыления…….	52
9	Методики по исследованию бактерицидных свойств фотокаталитических покрытий и свойств по разложению вредных органических примесей в воздухе…….……..……..……..……	53
9.1	Установка для исследования фотокаталитической активности……..…	53
9.2	Методика качественной оценки фотокаталитической активности……..……..…	55
9.3	Методика количественной оценки фотокаталитической активности путем измерения концентрации продуктов окисления…….…….……	56
9.4.	Методика количественной оценки фотокаталитической активности путем измерения остаточной концентрации исходных загрязняющих веществ……..…..	56
9.5	Методика изучения продуктов фотокаталитического окисления загрязняющих веществ……	56
9.6	Методика исследования бактерицидных свойств фотокаталитических покрытий……	57
10	Исследование бактерицидных свойств полученных покрытий…….	58
10.1	Исследование антимикробной активности стекол с нанопокрытием TiO_2……...	58
10.2	Исследование качества дезинфекции воздуха в помещении ……...	63
11	Фотокаталитическое окисление органических соединений…….	65
12	Исследование свойств фотокаталитических покрытий по очистке воздуха от паров органических растворителей……	72
12.1	Исследование путем измерения концентрации паров воды электронным прибором комбинированным «ТКА-ПКМ» для определения относительной влажности……	72
12.2	Газовохроматографическое измерение концентраций этилацетата, ацетона,	

толуола, ксилола, бутилацетата, гексана в воздухе рабочей зоны…… 78
13 Исследование свойств фотокаталитических покрытий по очистке воздуха от вредных газов…… 84
13.1 Исследования фотокаталитической очистки воздуха от токсичных газов: (метан, изобутан, этилен, пропилен), метилацетилен-алленовая фракция (смесь аллена и метилацетилена), уксусный альдегид, а также продукты пиролиза полимеров (полиэтилена и полипропилена)…….. 84
13.2 Качественная оценки фотокаталитической активности жидких органических соединений (толуол, изопропиловый спирт, этиловый спирт, бутанон-2, ацетон, петролейный эфир, этилацетат) по выделению CO_2…….. 88
14 Очистка воздуха фотокактализом …….. 89
14.1 Преимущества и недостатки фотокаталитических очистителей воздуха…… 90
14.2 Сферы применения …… 90
15 Анализ основных типовых конструкций рециркулярных облучателей, фотокаталитических очистителей воздуха…….. 91
15.1 Рециркулятор-облучатель АРМЕД СН-211…….. 91
15.2 Облучатель бактерицидный ОБН-04-"Я-ФП" …….. 92
15.3 Рециркулятор бактерицидный Сибэст – 20…… 93
15.4 Облучатель-рециркуляторбактерицидный РБ-07-Я-ФП…… 94
15.5 Ультрафиолетовый бактерицидный облучатель-рециркулятор воздуха ОРУБ-01 Дезар…….. 96
15.6 Бактерицидная лампа Philips TUV 15W SLV 25…….. 97
15.7 Бактерицидный рециркуляторы закрытого типа РВБ 60…… 98
15.8 Облучатель рециркуляторный КРИСТАЛЛ-2 …… 100
15.9 Облучатель-рециркулятор бактерицидный ОБРН-2х15 …….. 100
15.10 Компактный медицинский рециркулятор Тион А100 МЕД…….. 101
15.11 Очиститель АТМОС-Макси 200 ……..…… 102
15.12 Фотокаталитический очиститель воздуха L-40 ……..…….. 105
15.13 Обеззараживатель-очиститель воздуха "Аэролайф"…….…… 105
15.14 Очиститель воздуха Induct 2000…….…… 106
15.15 Конвекционная установка дезодорации воздуха с фотокаталитическим блоком, производительностью 100 м3 /час…… 107
15.16 Фотокаталитический очиститель воздуха «Луч-60»……..... 110
16 Описание конструкции опытной установки для очистки воздуха……..…… 111

17 Сборочный чертеж каталитического очистителя воздуха…… 123
18 Сборочный чертеж рамы ……..… 125
19 Сборочный чертеж рамы для вентиляторов……... 126
Заключение……. 131
Список использованных источников…….. 134
Приложение А Протоколы испытаний фотокаталитической активности……. 144
Приложение Б Технологический процесс получения фотокаталитических нанопокрытий методом ионоплазменного магнетронного напыления…… 154

Список использованных источников

1 Parmon, V., Emeline, A., & Serpone, N. (2002). "Glossary of terms in photocatalysis and radiocatalysis," International Journal of Photoenergy, vol. 4, pp. 91-131.

2 Mills, A. & Le Hunte, S. (1997). "An overview of semiconductor photocatalysis,"Journal of Photochemistry and Photobiology A, vol. 108, pp. 1-35.

3 Fujishima, A. & Honda, K. (1972). "Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode nature," Nature (London), vol. 238, pp. 37.

4 Xu, Y. & Schoonen, M. (2000). "The absolute positions of conduction and valence bands of selected semiconducting materials," American Mineralogist, vol. 85, pp. 543-556.

5 Blake, D. (1999). "Bibliography of work on the heterogeneous photocatalytic removal of hazardous compounds from water and air," National Renewal Energy Laboratory.

6 A. L. Linsebigler, G. Lu, and J. T. Yates Jr., "Photocatalysis onTiO2 surfaces: principles, mechanisms, and selected results,"Chemical Reviews, vol. 95, no. 3, pp. 735–758, 1995.

7 Goswami, Y. (1995). "Engineering of solar photocatalytic detoxification and disinfection processes," Advances in Solar Energy, vol. 10, pp. 165-210.

8 Пармон В. Н. Фотокатализ: Вопросы терминологии //Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии /Ред. К .И. Замараев, В. Н. Пармон. Новосибирск: Наука, 1991.С. 7-17.

9 Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air / Ed.by D.F. Ollis, H. Al-Ekabi. Elsevier, 1993.

10 Kaneko, M. & Okura, I. (2002). "Photocatalysis: science and technology," Springer-Verlag.

11 Schwarz, J., Contescu, C., & Contescu, A. (1995). "Methods for preparation of catalytic materials," Chemical Review, vol. 95, pp. 477-510.

12 McCormick, P. & Froes, F. (1998). "The fundamentals of mechanochemical processing," Journal of Minerals, Metals, and Materials, pp. 61-65.

13 Fernandez, J. (1999). "Mechanochemistry: an overview," Pure and Applied Chemistry, vol. 71, vol. 4, pp. 581-586.

14 Boldyrev, V. & Tkacova, K. (2000). "Mechanochemistry of solids: past, present, and prospects," Journal of Materials Synthesis and Processing, vol. 8, no. 3-4, pp. 121-132.

15 Beydoun, D., Amal, R., Low, G., & McEvoy, S. (1999). "Role of nanoparticles in photocatalysis," Journal of Nanoparticle Research, vol. 1, pp. 439-458.

16 Gribb, A. & Banfield, J. (1997). "Particle size effects on transformation kinetics and phase stability in nanocrystalline TiO2," The American Mineralogist, vol. 82, no.7-8, pp. 717-728.

17 Reddy, K., Reddy, C. & Manorama, S. (2001). "Preparation, characterization, and spectral studies of nanocrystalline anatase TiO_2," Journal of Solid State Chemistry, vol. 158, pp. 180-186.

18 Henglein, A. (1987). "Q-particles: size quantization effects in colloidal semiconductors," Progress in Colloid Polymer Science, vol. 73, pp. 1-4.

19 Almquist, C. & Biswas, P. (2002). "Role of synthesis method and particle size of nanostructured TiO2 on its photoactivity," Journal of Catalysis, vol. 212, pp. 145-156.

20 Hao, W., Zheng, S., Wang, C., & Wang, T. (2002). "Comparison of the photocatalytic activity of TiO2 powder with different particle size," Journal of Materials cience Letters, vol. 21, pp. 1627-1629.

21 Xu, N., Shi, Z., Fan, Y., Dong, J., Shi, J., & Hu, M. (1999). "Effects of particle size of TiO2 on photocatalytic degradation of methylene blue in aqueous suspensions," Industrial and Engineering Chemical Research, vol. 38, pp. 373-379.

22 Martin, S., Herrmann, H., Choi, W., & Hoffmann, M. (1995). "Photochemical destruction of chemical contaminants on quantum-sized semiconductor particles," Solar Engineering, vol. 1, pp. 409-413.

23 Shibata, T., Irie, H., Ohmori, M., Nakajima, A., Watanabe, T., & Hashimoto, K. (2004). "Comparison of photochemical properties of brookite and anatase TiO_2 films," Physical Chemistry Chemical Physics, vol. 6, pp. 1359-1362.

24 Koelsch, M., Cassaignon, S., Guillemoles, J., & Jolivet, J. (2002). "Comparison of optical and electrochemical properties of anatase and brookite TiO_2 synthesized by the sol-gel method," Thin Solid Films, no. 403-404, pp. 312-319.

25 Gennari, F. & Pasquevich, D. (1998). "Kinetics of the anatase-rutile transformation in TiO2 in the presence of Fe2O3," Journal of Materials Science, vol. 33, pp. 1571-1578.

26 Wu, C., Yue, Y., Deng, X., Hua, W., & Gao, Z. (2004). "Investigation on the synergetic effect between anatase and rutile nanoparticles in gas-phase photocatalytic oxidations," Catalysis Today, no. 93-95, pp. 863-869.

27 Somorjai, G. (1981). "Chemistry in two dimensions," Cornell University Press, Ithaca, pp. 551.

28 Kim, S. & Lee, E. (2001). "Photocatalytic effects of rutile phase TiO_2 ultrafine powder with specific surface area obtained by a homogeneous precipitation process at low temperatures," Journal of Sol-Gel Science and Technology, vol. 22, pp. 63-74.

29 Miyagi, T., Kamei, M., Mitsuhashi, T., Ishigaki, T., & Yamakazi, A. (2004). "Charge separation at the rutile/anatase interface: a dominant factor of photocatalytic activity," Chemical Physics Letters, vol. 390, pp. 399-402.

30 Ohno, T., Sarukawa, K., Tokieda, K., & Matsumura, M. (2001). "Morphology of a TiO_2 photocatalyst (Degussa P-25) consisting of anatase and rutile crystalline phases," Journal of Catalysis, vol. 203, pp. 82-86.

31 Kim, S. & Lee, E. (2001). "Photocatalytic effects of rutile phase TiO2 ultrafine powder with high specific surface area obtained by a homogeneous precipitation process at low temperatures," Journal of Sol-Gel Science and Technology, vol. 22, pp. 63-74.

32 Ohno, T., Sarukaw, K. & Matsumura, M. (2002). "Crystal faces of rutile and anatase TiO_2 particles and their roles in photocatalytic reactions," New Journal of Chemistry, vol. 26, pp. 1167-1170

33 Diebold, U. (2003). "The surface science of titanium dioxide," Surface Science Reports, vol. 48, pp. 53-229.

34 Xu, A., Gao, Y., & Liu, H. (2002). "The preparation, characterization, and their photocatalytic activities of rare-earth doped TiO2 nanoparticles," Journal of Catalysis, vol. 207, pp. 151-157.

35 Sakthivel, S., Shankan, M., Palanichamy, M., Bahnemann, D., & Murugesan, V. (2004). "Enhancement of photocatalytic activity by metal deposition: characterization and photonic efficiency of Pt, Au, and Pd deposited on TiO2 catalyst," Water Research, vol. 38, pp. 3001-3008.

36 Wu., C., Chao, C., & Kuo, F. (2004), "Enhancement of the photocatalytic performance of TiO_2 catalysts via transition metal modification," Catalysis Today, vol. 97, pp. 103-112.

37 Linsebigler, A., Lu, G., & Yates, J. (1995). "Photocatalysis on TiO2 surfaces: principle, mechanisms, and selected results," Chemical Review, vol. 95, pp. 735-758.

38 Yang, R., Li, W., & Chen, N. (1998). "Reversible chemisorption of nitric oxide in the presence of oxygen on titania and titania modified with surface sulfate," Applied Catalysis A, vol. 169, pp. 215-225.

39 Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K., & Taga, Y. (2001). "Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titanium oxides," Science Magazine, vol. 293, pp. 269-271.

40 Anpo, M. (2000). "Applications of titanium oxide photocatalysts and unique second-generation TiO2 photocatalysts able to operate under visible light irradiation for the reduction of environmental toxins on a global scale," Studies in Surface Science and Catalysis, vol. 130, pp. 157-166.

41 Anpo, M. (1998). "Applications of TiO_2 photocatalysts to better our environment: approaches in achieving highly efficient reactions and realizing the use of visible light," Protecting the Environment, pp. 75-88.

42 Chengyu, W., Huamei, S., Ying, T., Tongsuo, & Guowu, Z. (2003). "Properties and morphology of CdS comounded TiO2 visible-light activated photocatalytic nanofilms coated on glass surface," Separation and Purification Technology, vol. 32, pp. 357-362.

43 Sant, P. & Kamat, P. (2001). "Interparticle electron transfer between size-quantized CdS and TiO_2 nanoclusters," Physical Chemistry Chemistry Physics, vol. 4, pp. 198-203.

44 C. Burda, Y. Lou, X. Chen, A. C. S. Samia, J. Stout, and J. L. Gole, "Enhanced nitrogen doping in TiO_2 nanoparticles,"Nano Letters, vol. 3, no. 8, pp. 1049–1051, 2003.

45 M.Mrowetz,W.Balcerski,A.J.Colussi,andM.R.Hoff-mann, "Oxidative power of nitrogen-doped TiO_2 photocata-lysts under visible illumination," Journal of Physical ChemistryB, vol. 108, no. 45, pp. 17269–17273, 2004.

46 R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki, and Y. Taga,"Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titanium ox-ides," Science, vol. 293, no. 5528, pp. 269–271, 2001.

47 H. Irie, Y. Watanabe, and K. Hashimoto, "Nitrogen-concentration dependence on photocatalytic activity of TiO_2-xNx powders," Journal of Physical Chemistry B, vol. 107,no. 23, pp. 5483–5486, 2003.

48 T. Ihara, M. Miyoshi, Y. Iriyama, O. Matsumoto, and S. Sug-ihara, "Visible-light-active titanium oxide photocatalyst realized by an oxygen-deficient structure and by nitrogen doping,"Applied Catalysis B, vol. 42, no. 4, pp. 403–409, 2003.

49 S. Yin, H. Yamaki, M. Komatsu, et al., "Preparation of nitrogen-doped titania with high visible light induced photocatalytic activity by mechanochemical reaction of titania
and hexamethylenetetramine," Journal of Materials Chemistry,vol. 13, no. 12, pp. 2996–3001, 2003.Yonggang Sheng et al. 7

50 L. Lin, W. Lin, Y. Zhu, B. Zhao, and Y. Xie, "Phosphor-doped titania - a novel photocatalyst active in visible light," Chemistry Letters, vol. 34, no. 3, pp. 284–285, 2005.

51 S. Sakthivel and H. Kisch, "Daylight photocatalysis by carbonmodified titanium dioxide," Angewandte Chemie International Edition, vol. 42, no. 40, pp. 4908–4911, 2003.

52 T. Ohno, T.Mitsui, andM.Matsumura, "Photocatalytic activity of S-doped TiO2 photocatalyst under visible light," Chemistry Letters, vol. 32, no. 4, pp. 364–365, 2003.

53 T. Umebayashi, T. Yamaki, S. Tanaka, and K. Asai, "Visible light-induced degradation of methylene blue on S-doped TiO2," Chemistry Letters, vol. 32, no. 4, pp. 330–331, 2003.

54 W. Zhao, W. Ma, C. Chen, J. Zhao, and Z. Shuai, "Efficient degradation of toxic organic pollutants with (Ni2O3)/(TiO2−xBx) under visible irradiation," Journal of the American Chemical Society, vol. 126, no. 15, pp. 4782–4783,2004.

55 C. Di Valentin, G. Pacchioni, and A. Selloni, "Origin of the different photoactivity of N-doped anatase and rutile TiO2," Physical Review B, vol. 70, no. 8, Article ID 085116, 4 pages, 2004.

56 D. Li, H. Haneda, S. Hishita, and N. Ohashi, "Visible-light-driven N-F-codoped TiO_2 photocatalysts. 2. Optical charac-terization, photocatalysis, and potential application to air purification," Chemistry of Materials, vol. 17, no. 10, pp. 2596–2602, 2005.

57 H. Sun, Y. Bai, Y. Cheng, W. Jin, and N. Xu, "Preparation and characterization of visible-light-driven carbon-sulfur-codoped TiO_2 photocatalysts," Industrial and Engineering Chemistry Research, vol. 45, no. 14, pp. 4971–4976, 2006.

58 J.L.Gole,J.D.Stout,C.Burda,Y.Lou,andX.Chen,"Highly efficient formation of visible light tunable TiO2-xNx photocatalysts and their transformation at the nanoscale," Journal of Physical Chemistry B, vol. 108, no. 4, pp. 1230–1240, 2004.

59 Z. Lin, A. Orlov, R. M. Lambert, and M. C. Payne, "New in-sights into the origin of visible light photocatalytic activity of nitrogen-doped and oxygen-deficient anatase TiO_2," Journal of Physical Chemistry B, vol. 109, no. 44, pp. 20948–20952, 2005.

60 M. Dryga´ s, C. Czosnek, R. T. Paine, and J. F. Janik, "Two-stage aerosol synthesis of titanium nitride TiN and titanium oxynitride TiOxNy nanopowders of spherical particle morphology," Chemistry of Materials, vol. 18, no. 13, pp. 3122–3129, 2006.

61 I. Nakamura, N. Negishi, S. Kutsuna, T. Ihara, S. Sugihara, and K. Takeuchi, "Role of oxygen vacancy in the plasma-treated TiO2 photocatalyst with visible light activity for NO removal," Journal ofMolecular Catalysis A, vol. 161, no. 1-2, pp. 205–212, 2000.

62 T. Ihara, M. Miyoshi, Y. Iriyama, O. Matsumoto, and S. Sugihara, "Visible-light-active titanium oxide photocatalyst realized by an oxygen-deficient structure and by nitrogen doping,"Applied Catalysis B, vol. 42, no. 4, pp. 403–409, 2003.

63 Li, D., Haneda, H., Hishita, S., & Ohashi, N. (2005). "Visible-light-driven nitrogen-doped TiO_2 photocatalysis: effect of nitrogen precursors on their photocatalysis for ecomposition of gas-phase organic pollutants," Materials Science and Engineering B, vol. 117, pp. 67-75.

64 Premkumar, J. (2004). "Development of super-hydrophilicity on nitrogen-doped TiO2 thin film surface by photoelectrochemical method under visible light," Chemistry Materials, vol. 16, 3980-3981.

65 Suda, Y., Kawasaki, H., Ueda, T., & Ohshima, T. (2004). "Preparation of high quality nitrogen doped TiO2 thin film as a photocatalyst using a pulsed laser deposition method," Thin Solid Films, vol. 453-454, pp. 162-166.

66 Livraghi, S., Votta, A., Cristina, P., & Giamello, E. (2005). "The nature of paramagnetic species in nitrogen doped TiO2 active in visible light photocatalysis," Chemistry Communications, pp. 498-500.

67 Yuan, Z. & Zhang, L. (2001). "Synthesis, characterization and photocatalytic activity of ZnFe2O4/TiO_2 nancomposite," Journal of Material Chemistry, vol. 11. pp. 1265-1268.

68 S. U.M. Khan and J. Akikusa, "Photoelectrochemical splitting of water at nanocrystalline n-Fe2O3 thin-filmelectrodes," Jour- nal of Physical Chemistry B, vol. 103, no. 34, pp. 7184–7189, 1999.

69 A.-W. Xu, J.-Y. Zhu, Y. Gao, and H.-Q. Liu, "Iron-doped titania nanoparticles for the photocatalytic oxidative degradation of nitrite," Chemical Research in Chinese Universities, vol. 17, no. 3, pp. 281–286, 2001.

70 C. Wang, D. W. Bahnemann, and J. K. Dohrmann, "A novel preparation of iron-doped TiO_2 nanoparticles with enhanced photocatalytic activity," Chemical Communications, vol. 16, pp. 1539–1540, 2000.

71 J.C.Yu,J.Yu,W.Ho,Z.Jiang,andL.Zhang,"Effects of F–doping on the photocatalytic activity and microstructures of nanocrystalline TiO2 powders," Chemistry ofMaterials, vol. 14, no. 9, pp. 3808–3816, 2002.

72 J.C.Yu,J.Yu,W.Ho,Z.Jiang,andL.Zhang,"Effects of F–doping on the photocatalytic activity and microstructures of nanocrystalline TiO_2 powders," Chemistry ofMaterials, vol. 14, no. 9, pp. 3808–3816, 2002.

73 H. Shon, S. Phuntsho, .f Okour. Visible Light Responsive Titanium Dioxide (TiO_2). J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 19, No. 1, February 2008, 1-16

74 Carp O., Huisman C.L., Reller A. 2004. Induced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry, 32: 33-177

75 Yoshiya K., Shin-ya M., Hiroshi K., Bunsho O. 2002. Design, preparation and characterization of highly active metal oxide photocatalysts. In: Photocatalysis: science and technology. Kaneko M., Okura I. (eds.). Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag: 29-49

76 Carp O., Huisman C.L., Reller A. 2004. Induced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry, 32: 33-177

77 Brinker C. J., Scherer G. W. 1990. Sol-gel science. The physics and chemistry of sol-gel processing. London, Academic Press

78 P. Sigmund, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B (1987). «Mechanisms and theory of physical sputtering by particle impact». Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B Beam Interactions with Materials and Atoms

79 Sputtering by Particle bombardment: Experiments and Computer Calculations from Threshold to Mev Energies. — Springer, Berlin, 2007.

80 Hao, WT. Comparison of the photocatalytic activity of TiO_2 powder with different particle size/ W. Hao, S. Zheng, C., & Wang T.- Wang.- Journal of Materials Science Letters, vol. 21, 2002.-pp. 1627-1629.

81 Shkrob, I. & Sauer, M. Hole scavenging and photo-stimulated recombination of electron-hole pairs in aqueous TiO_2 nanoparticles.-Journal of Physical Chemistry B, vol. 4. 2004.-pp. 1-63.

82 Anpo, M. Applications of titanium oxide photocatalysts and unique secondgeneration TiO_2 photocatalysts able to operate under visible light irradiation for the reduction of environmental toxins on a global scale.- Studies in Surface Science and Catalysis, vol. 130. 2000.-pp. 157-166

83 Воронцов А. В., . Козлова Е. А, Бесов А. С., . Козлов Д. В, Киселев С. А., Сафатов А. С. Фотокатализ: Преобразование энергии света для окисления, дезинфекции и разложения воды. Кинетика и катализ. 2010.- Т.51.- №6.- С. 829-836.

84 Znaidi L., Seraphimova R., Bocquet J.-F., Colbeau-Justin C., Pommier C., Mater. Res. Bull, .- 2001. - V. 36. – P. 811-825.

85 Byrene B.R, Eggins N.M.D., Brown B.M., Rouse M. , Immobilization of TiO_2 Powder for the Treatment of Polluted Water. Applied Catalysis:Environmental . -1998. – V. 17.- P. 25–26.

86 Casrey J.H, Lawrence T. Photodechlorination of Polychlorinated Biphenyls in the Presence of Titanium Dioxide in Aqueous Solution. - 1997. -Bull Environ. Contam. Toxical . V. 16(6).- P. 697–701.

87 Bauer H. R. Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Organics for Air Purification by Near UV Irradiated Titanium Dioxide.- 1999.- Chemosphere . - V 38(7).- P. 1549–1559.

88 Matthews R.W. Purification of Water with Near UV Illuminated Suspensions of Titanium Dioxide. J. Water Research . - 1990. –V.24. - P.653–659.

89 Matthews R.W. Photooxidative Degradation of Colored Organics in Water using Supported Catalysts TiO_2 on Sand. J. Water Research . - 1991. –V.25. - P. 1167–1176.

90 Завадич, В. П. Специальные многофункциональные нанопокрытия из диоксида титана./ В. П. Завадич, В .Д. Егоров, И. С. Алексеев.- Композиционные материалы в промышленности: Материалы Двадцать восьмой международной конференции 28-30 мая 2008 года, г. Ялта –Киев.УИЦ «НАУКА, ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ, 2008. – С.12-13

91 Yu J.C., Wang X., Fu X. 2004. Pore-wall chemistry and photocatalytic activity of mesoporous titania molecular sieve films. Chemistry of Materials, 16: 1523-1530

92 Бабко А.К., Пятницкий Н.В. Количественный анализ.- М.: Высшая школа, 1968.-495 с.

93 Химическая энциклопедия: в 5 т.: Т.3.; под. ред. Н.С. Зефирова [и др.]. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1992.– С. 186.

94 Shon, H.Visible Light Responsive Titanium Dioxide (TiO2)/ H. Shon, S. Phuntsho, .f Okour.- J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 19, No. 1, February 2008, 1-16

95 Carp O., Huisman C.L., Reller A. 2004. Induced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry, 32: 33-177

96 Hashimoto K., Irie H., Fujishima A. 2005. TiO_2 photocatalysis: a historical overview and future prospects. Japanese Journal of Applied Physics, 44: 8269-8285.

97 В. М. Зайнуллина, В. П. Жуков, М. А. Коротин, Е. В. Поляков. Влияние легирования атомами бора, углерода и азота на магнитныеи фотокаталитические свойства анатаза. Физика твердого тела, 2011, том 53, вып. 7

98 Z.-W. Qu and G.-J. Kroes, "Theoretical study of the electronic tructure and stability of titanium dioxide clusters (TiO2)nwith n = 1–9", J. Phys. Chem. B 110, 8998 (Apr. 2006), doi:10.1021/jp056607p

99 Hyun Jeong Jo, Byoung Joon Ahn, Myoung Soo Gang, Seuk-Beum Ko, and Wonghil Chang Synthesis and Photocatalytic Reactions of Highly Ordered Macroporous TiO2, Department of Chemistry Education, Institute of Science Education, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea School of Health Science and Resources, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea Received February 10, 2006; Accepted June 26, 2006

100 Краткий справочник физико-химических величин. Изд. 8-е, перераб./Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. — Л.:Химия, 1983. С.60

101 Рабинович. В. А., Хавин З. Я. Краткий химический справочник Л.:Химия, 1977 с. 102 Управляемые магнетронные технологии формирования пленочных покрытий./Монография «Высокоэнергетические технологии формирования твердотельных структур». под общ редакцией Достанько А. П и Толочко Н. К. стр. 136 -173.

103 Сейдман Л.А. Реактивное нанесение в вакууме слоев нитрида титана // Обзоры по электронной технике. Сер. 2. 1988. Вып. 6. С. 8–30.

104 Predicting thin film stoichiometry in reactive sputtering / Berg S., Larson T., Hender C., Blom H. // J. Appl. Phys. 1988. Vol. 63, N 1. P. 887–891.

105 Спектральный контроль и управление процессами магнетронного реактивного распыления / Бурмаков А. П., Балясников А. А., Зайков В. А., Лабуда А. А., Чёрный В. Е. // Ваку-умная техника и технологии. 1994. Т. 4, Вып. 2. С. 14–16.

106 Управление расходом газов в технологических процессах ионно-плазменного и ионно-лучевого осаждения многослойных покрытий с заданными свойствами / Бурмаков А. П., Игнатенко И. И., Коротков К. В., Чёрный В. Е. // Физика и химия обработки материалов. 2000. N 4. С. 71–74.

107 Оптико-спектральные исследования вакуумно-плазменных технологических сред в процессах нанесения покрытий сложного состава / Бурмаков А. П., Зайков В. А., Лабуда А. А., Никифоренко Н. Н., Чёрный В. Е. // Новые материалы: Материалы итоговой конференции БГУ. Минск. 1996. С. 14–18.

108 Монохроматизация излучения при спектральном контроле плазменных технологических процессов / Бурмаков А. П., Лабуда А. А., Никифоренко Н. Н. // Журнал прикладной спектроскопии. 1997. Т. 65, N 6. С. 1005–1008.

109 Неустойчивость процесса реактивного магнетронного распыления / Бурмаков А. П., Зайков В. А., Лабуда А. А., Чёрный В. Е. // Журнал прикладной спектроскопии. 1996. Т. 63, N 6. С. 1049–1053.

110 Эмиссионно-оптические исследования магнетронного разряда в реактивных процессах осаждения нитрида и оксида титана. / Бурмаков А. П., Зайков В. А., Лабуда А. А., Чёрный В. Е. // Радиофизика и электроника: Сборник научн. трудов. Минск. 1996. Вып. 2. С. 120–124.

111 Савинов, Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха/Е.Н. Савинов//Соросовский обр. журн. -2000. – Т.6.- №11.-С.52-56.

112 Воронцов, А.В. Гетерогенная фотокаталитическая окислительная деструкция углеродсодержащих соединений на чистом и платинированном диоксиде титана// Автореф дисс…д.х.н., Новосибирск,2009.

113 Механизм фотокаталитического окисления угарного газа (Электрон. ресурс) - 9 декабря 2012г. – Режим доступа: www.airlife.ru

114 Эмануэль Н.М. Роль среды в радикально-цепных реакциях окисления органических соединений/ Н.М. Эмануэль, Г.Е. Заиков, З.К. Майзус// М.:, Наука, 1973

115 Боболев, А.В. Ингибирующее действие полимерного продукта в процессе жидкофазного окисления пропилена/ А.В. Боболев, Э.А. Блюмберг// Теория и практика жидкофазного окисления. М.: Наука. 1974. –С.46-50.

116 Открытые архивы – KYRLIBNET (Электрон. ресурс) - 9 декабря 2012г. – Режим доступа: - http://arch.kyrlibnet.kg/

117 Чирко, А.И. Перекисные продукты автоокисления ацетиленовых углеводородов/ А. И Чирко, К.И. Иванов, И.Г. Тищенко, С.Г. Степин// Теория и практика жидкофазного окисления. М.: Наука. 1974. –С.38-41.

118 Чирко, А.И. Автоокисление ацетиленов. IV.2-Метил-3-бутин, 2-метил-3-пентин и 2-метил-3-гексин. / А. И Чирко, К.И. Иванов, И.Г. Тищенко, С.Г. Степин// Журнал органической химии. – 1972. - Т.8. - вып.4. - С.687-691.

119 Pritzkow, W. The Autoxidation of Acetylenic Hydrocarbons/ W. Pritzkow, T.S.S. Rao//Z. Chem. – 1990. – B. 30. – N 12. – P/ 422-427.

120 Денисов, Е.Т. Механизм жидкофазного окисления кислородсодержащих соединений/ Е.Т. Денисов, Н.И. Мицкевич, В.Е. Агабеков//Мн. : Наука, 1975. -336 с.

121 Медицинская техника. Медтехника. Рециркуляторы воздуха : [Электронный ресурс]/ Справочник медицинского оборудования. - Режим доступа:http://www.8a.ru.html/ Дата доступа: 28.08.2011.

122 УФ системы для обеззараживания воздуха и поверхностей : [Электронный ресурс] / Промышленные системы УФ-обеззараживания. - Режим доступа : http://www.uv-systems.ru.html/ Дата доступа: 25.08.2011.

123 Облучатели-рециркуляторы : [Электронный ресурс]/Медприборы. - Режим доступа:http://www.medpribori.ru.html/ Дата доступа: 27.08.2011.

124 Medpostav.ru : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.medpostav.ru/dezar.htm/ Дата доступа : 18.03.2013.

125 Медремкомплект : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.medrk.ru/shop/index.php/ Дата доступа : 18.03.2013.

126 Медоборудование : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.icida.ru/catalog/index/8/23/49/ Дата доступа : 18.03.2013.

127 Интернет магазин медтехники "Спиромед.ру" : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://spiromed.ru/kristal_2.html/ Дата доступа : 18.03.2013.

128 ООО «Элид» : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.azovsvet.ru/prod7.htm/ Дата доступа : 18.03.2013.

129 ООО «Алтей» : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.orel-med.ru/index.php/ Дата доступа : 18.03.2013.

130 Интернет магазин «АЛЛЕРГОТЕКА» : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.allergoteka.by/categ/ochistiteli_vozduha/fotokatal/2485.html/ Дата доступа : 18.03.2013.

131 Sentech-medical.ru : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://sentech-medical.ru/component/s_products/top/151/list/167/product/61/ Дата доступа : 18.03.2013.

132 ООО «Туандр» : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://tua.by/ Дата доступа : 18.03.2013.

133 Интернет-магазин "Очиститель воздуха" : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.ochistitelvozduha.ru/promyishlennyie-vozduhoochistiteli/ochistitel-vozduha-ductworx-vstraivaemyiy-v-sistemu-ventilyatsii.html/ Дата доступа : 18.03.2013.

134 Фотокаталитические системы очистки воздуха промышленных предприятий на основе высокопористых ячеистых материалов : [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://ekokataliz.ru/articles/photocatalysis.html/ Дата доступа : 18.03.2013.

135 Козлова Д.В., Воронцов А.В., Разработка многоступенчатых фотокаталитических реакторов для очистки воздуха: Учебное пособие / Д.В.Козлова, А.В.Воронцов. – М.: Издадельство «Химия в интересах устойчивого развития»