

УДК: 547.642.754:541.145:543.422.6

Фотохимические органические системы для информационных технологий и оптических устройств

В.А.Барачевский

Аннотация

Представлен обзор работ, выполненных с 1997 по 2011 г. в Центре фотохимии РАН в области молекулярной и нанофотоники светочувствительных органических систем и материалов. Основные направления этих исследований связаны с синтезом, исследованием и применением органических фотохромных соединений.

Ключевые слова: фотохромизм, спектроскопия, светочувствительные регистрирующие среды, синтез, молекулярное моделирование, применение, фотоиндуцированные явления, флуоресценция, рефракция, анизотропия, полимерные системы

1. Введение

Фотохимия органических соединений является одним из актуальных направлений науки, стимулирующих развитие различных прикладных исследований [1]. Анализ результатов этих исследований позволил сформулировать фундаментальные и прикладные направления исследований в области фотохимических органических систем для информационных технологий и оптических устройств [2-29]:

-фотохромизм органических соединений и систем (полимерные и полимолекулярные слои, агрегаты, комплексы с ионами металлов, наночастицы на основе неорганических и органических веществ), включая их синтез, а также молекулярное моделирование органических фотохромных соединений.

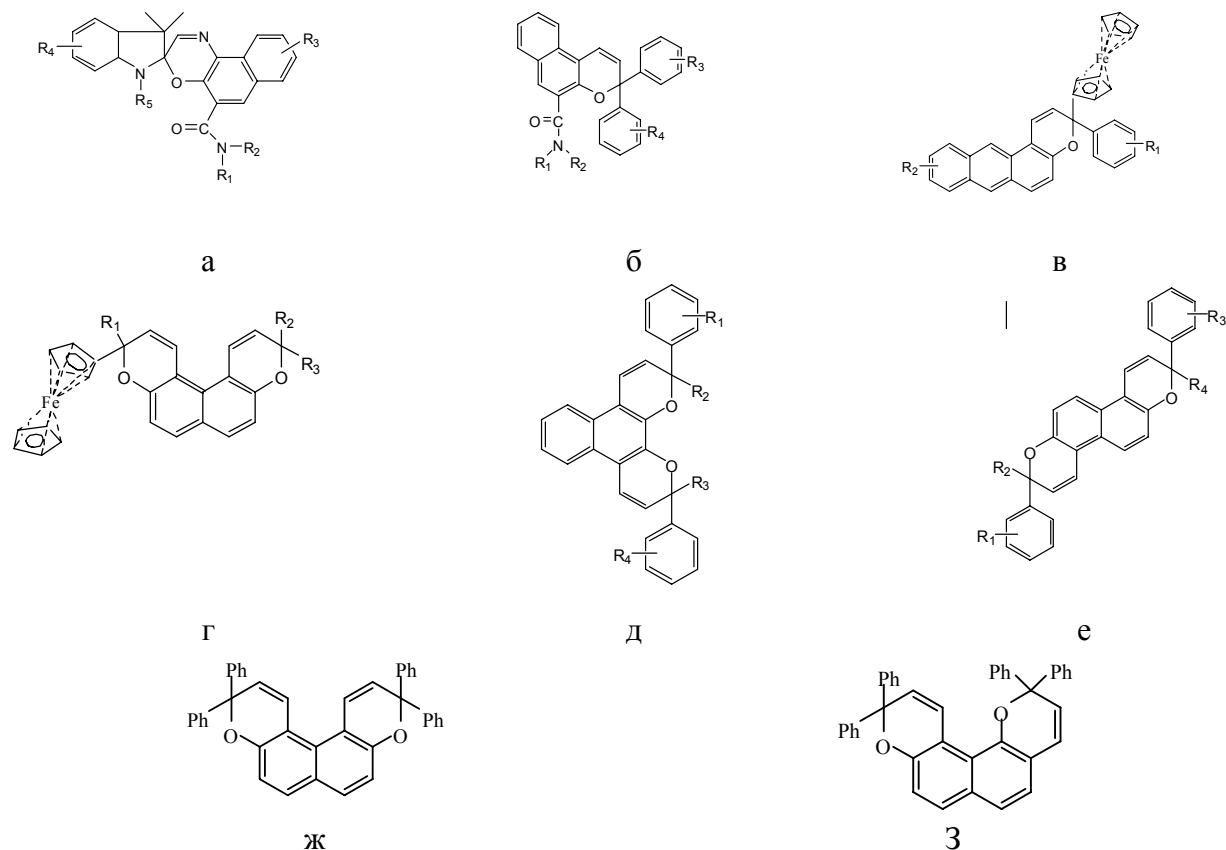
-функциональные свойства фотохромных систем (фотоиндуцированные явления флуоресценции, изменения показателя преломления, анизотропии, реакционной способности, полимеризации, линейного и нелинейно-оптического преобразования излучения и др.);

-фотоника светочувствительных органических систем, предназначенных для применения в реверсивных модуляторах света и частотных преобразователях излучения, оперативной и архивной побитовой и голографической оптической памяти, фотопереклещателях различного типа, хемосенсорах и др.

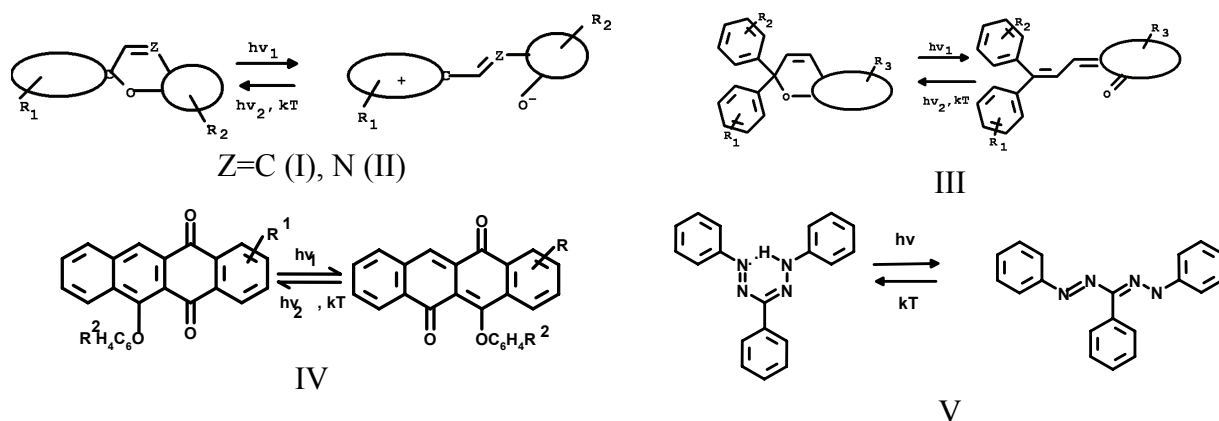
В данной статье представлен обзор работ, выполненных с 1997 по 2011 г. в Центре фотохимии РАН в этих выбранных направлениях.

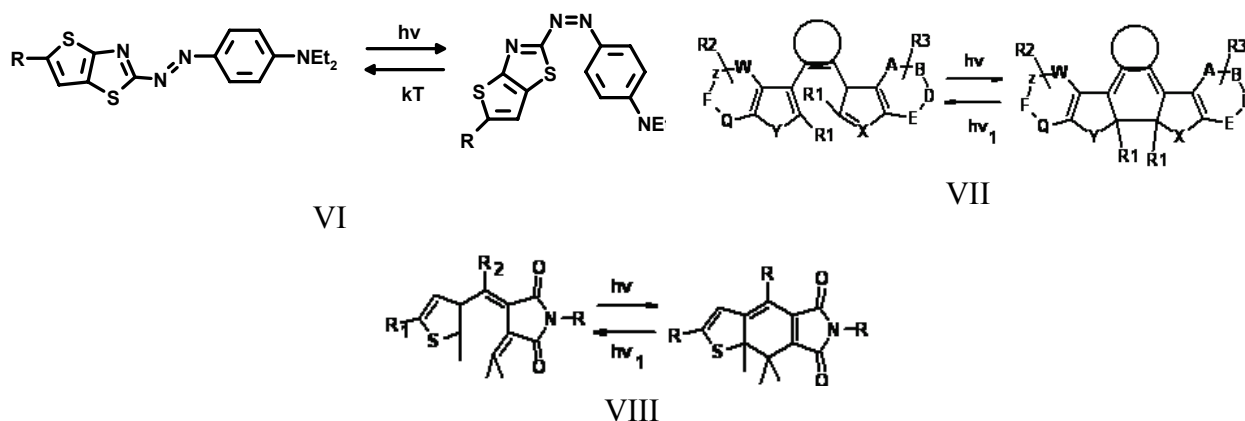
2.Фундаментальные исследования

Для обеспечения прикладных исследований в области фотохромных светомодулирующих устройств был синтезирован ряд новых фотохромных соединений из класса спирооксазинов (а) и хроменов (б-е), включая бис-хромены (с-з) [30-36].



Исследован фотохромизм соединений из классов спиропиранов [30,31,37-79], спирооксазинов I, II [32, 81-102], хроменов III [33, 34,39,103-106] феноксипроизводных хинонов IV [54-55, 107, 108], формазанов V[109-116], азокрасителей VI [117, 118,] дигетарилэтенов VII [53-56,118-166], фульгимидов VIII [134-140,142,143, 166-173].



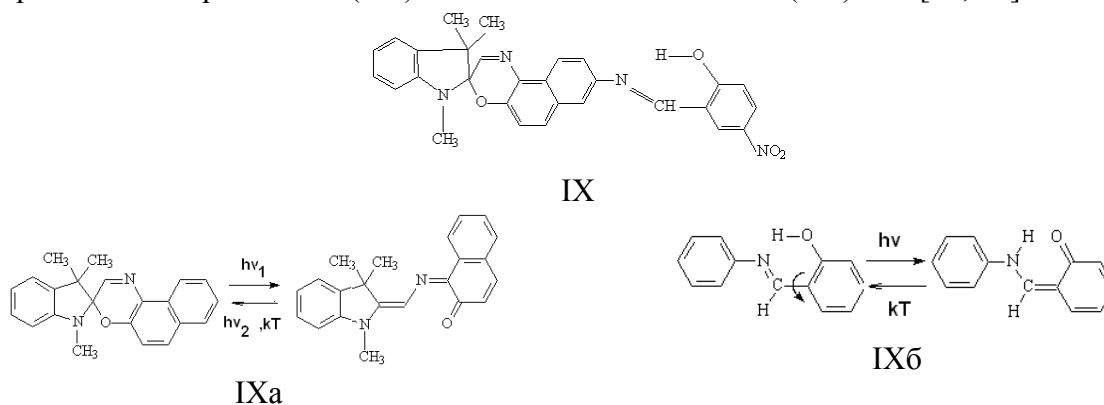


В результате исследования установлены закономерности между структурой и свойствами фотохромных соединений, выявлены особенности механизма фотохромных превращений.

Для определения возможности фотоиндуцированного раскрытия двух пирановых фрагментов бис-хроменов и интерпретации результатов их экспериментального исследования были выполнены квантово-химические расчеты. Показано, что для большинства бис-хроменов вероятно раскрытие обоих пирановых фрагментов. Однако при раскрытии пирановых циклов не происходит сдвига полосы поглощения в длинноволновую область, поскольку цепи сопряжения указанных раскрытых фрагментов лежат в различных плоскостях. Вследствие отсутствия единой цепи сопряжения наблюдается лишь незначительное уширение полосы поглощения. В случае отдельных бис-хроменов раскрытие двух пирановых фрагментов оказывается энергетически невыгодным вследствие значительного искажения планарности основного ядра молекулы по сравнению с формой молекулы с одним раскрытым пирановым циклом.

Разработана и создана информационная база данных по фотохромным органическим соединениям, содержащая информацию о более 1000 фотохромных веществ [8,9].

Исследован фотохромизм гибридного фотохромного соединения IX с двумя фотохромными фрагментами, различающимися механизмом фотохромных превращений: спирооксазин (CO) IXa и салицилиденанилин (CA) IXб [88, 95].



Показана возможность управления выходом фотоиндуцированных форм двух различных фрагментов путем изменения энергии (рис.1) и фазы лазерного фемтосекундного импульса (рис.2) фемтосекундного лазерного излучения [88].

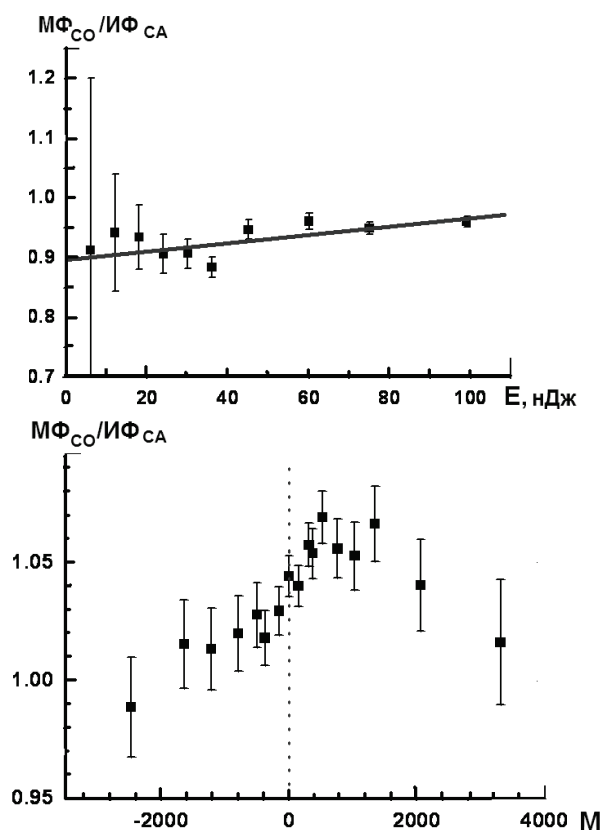


Рис.1. Изменение соотношения выходов фотоиндуцированных мероцининовой формы (МФ) спирооксазинового фрагмента и фотоиндуцированной изомерной формы (ИФ) салицилиденанилинового фрагмента гибридной фотохромной молекулы IX в зависимости от энергии фемтосекундного лазерного импульса.

Рис.2. Изменение соотношения выходов мероцининовой формы (МФ) спирооксазинового фрагмента и изомерной формы (ИФ) салицилиденанилинового фрагмента гибридной фотохромной молекулы IX в зависимости от фазы фемтосекундного лазерного импульса.

Разработаны способы получения полимолекулярных слоев на основе фотохромных спиросоединений, дигетарилэтенон, а также азо-, цианиновых и скварилиевых красителей методами Ленгмюра-Блоджетт и Ленгмюра-Шеффера [48-51,90,107, 114, 174, 175].

На рис. 3 и 4 приведены фотоиндуцированные спектральные изменения фотохромных пленок Ленгмюра-Блоджетт спирооксазина X и диарилэтена XI.



X

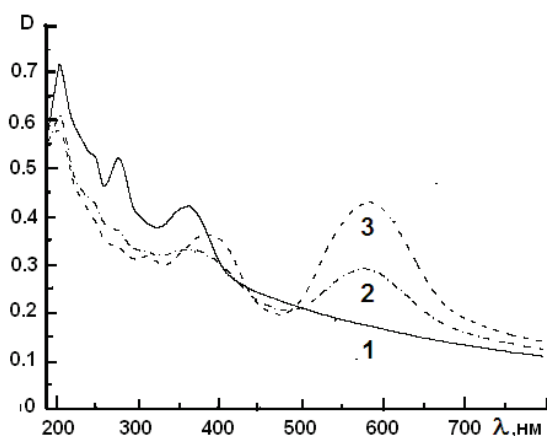


Рис. 3. Спектры поглощения пленок Ленгмюра-Блоджетт на основе спирооксазина X до (1), после облучения УФ светом (2) и последующего облучения видимым светом.

XI

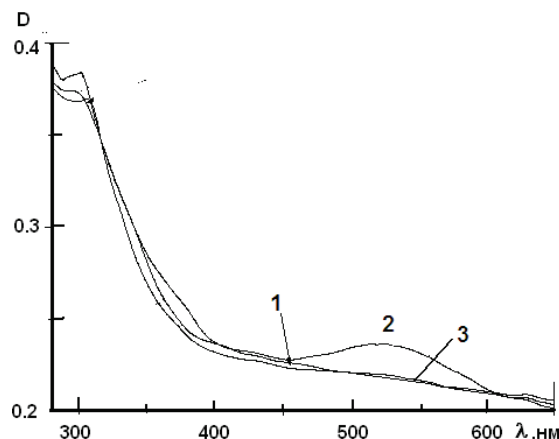
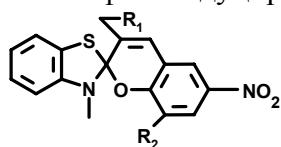


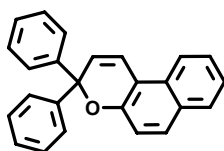
Рис. 4. Спектры поглощения пленок Ленгмюра-Блоджетт на основе диарилэтена XI до (1), после облучения УФ светом (2) и последующего облучения видимым светом.

В результате спектрально-кинетических исследований установлены зависимости между структурой фотохромных соединений и эффективностью их фотохромизма в полимолекулярных слоях, а также влияние компонентного состава и структуры полимолекулярных слоев на фотохромные превращения веществ.

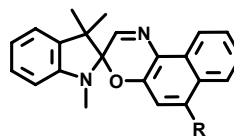
Изучено явление фотоиндуцированной флуоресценции фотохромных спирособъединений [37-39,58-61]. Установлена взаимосвязь между структурой соединений и спектральными свойствами и интенсивностью флуоресценции. На рис.5 приведены спектры флуоресценции фотоиндуцированной формы ряда бензтиазолильных спиропиранов XII, различающихся заместителями. Рис. 6 демонстрирует спектры поглощения исходной и фотоиндуцированной форм, а также фотоиндуцированной флуоресценции хромена XIII.



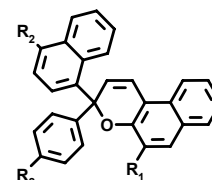
XII



XIII



XIV



XV

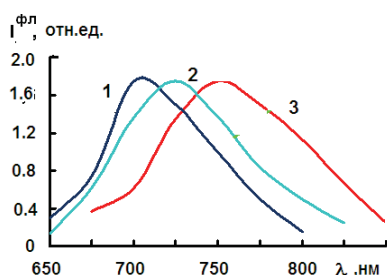


Рис.4. Спектры фотоиндуцированной флуоресценции спиропиранов XII: $R_1=CH_3$; $R_2=H$ (1); $R_1=C_2H_5$; $R_2=CH_2SC_2H_5$ (2); $R_1=(CH_2)_2O(CH_2)_2OCH_3$; $R_2=OCH_3$ (3) в толуоле.

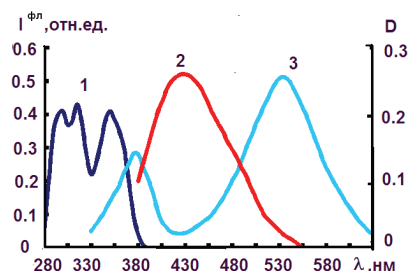


Рис. 5. Спектры поглощения исходной (1), фотоиндуцированной (2) форм и фотоиндуцированной флуоресценции (3) соединения XIII в толуоле.

Фотоиндуцированная форма спиросоединений содержит отрицательно заряженный фенолятный кислород, что позволяет использовать эти соединения для фотоиндуцированного образования комплексов с катионами металлов. В связи с этим были изучены процессы фотоиндуцированного комплексообразования молекул фотохромных спиросоединений XII, XIV, XV, в том числе содержащих краун – заместители [64-68, 91-96, 115, 116, 160, 176-178]. Установлена взаимосвязь между структурой соединений и природой ионов металлов.

В табл. 1 представлены результаты исследования комплексообразования молекул спиропиранов XII с рядом катионов металлов в ацетонитриле.

Таблица1. Спектральные сдвиги полос поглощения фотоиндуцированной мероцианиновой формы спиропиранов XII в ацетонитриле в зависимости от природы ионов.

R_1	R_2	Ион	$\lambda_{\text{в}}^{\text{макс}}$, нм	$\Delta\lambda_{\text{в}}$, нм
-OCH ₃	-OCH ₃	-	575	-
		Li ⁺	505	-70
		Ba ²⁺	505	-70
		Ca ²⁺	485	-90
		Mg ²⁺	460	-115
		Eu ³⁺	440	-135
-C(β-C ₁₀ H ₉)	-OCH ₃	-	590	-
		Ba ²⁺	515	-75
		Ca ²⁺	495	-95
		Mg ²⁺	480	-110
		Eu ³⁺	440	-150

Примечание: $\lambda_{\text{в}}$ – длина волны максимума полосы поглощения мероцианиновой формы спиропирана; $\Delta\lambda_{\text{в}}$ – разница длин волн максимумов полос поглощения мероцианиновой формы без и в присутствии ионов металла.

Из табл.1 видно, что максимум полосы поглощения мероцианиновой формы при комплексообразовании с ионами металлов смещается в коротковолновую сторону на 70-150 нм в зависимости от природы заместителя R_1 и иона металла.

Для хромена XV при комплексообразовании наблюдается сдвиг максимума фотоиндуцированной открытой формы, наоборот, в длинноволновую спектральную область (табл.2 и рис. 6).

Таблица 2. Спектральные сдвиги поглощения фотоиндуцированной открытой формы хромена XV в зависимости от природы ионов.

R_1	R_2	Ион	$\lambda_B^{\text{макс}}$, нм	$\Delta\lambda_B$, нм
-H	-N(CH ₃) ₂	-	540	-
		Mg ²⁺	580	+40
		La ³⁺	705	+165
		Tb ³⁺	710	+170
-CONH(C ₆ H ₄)OCH ₃	-N(CH ₃) ₂	-	615	-
		Ba ²⁺	680	+65
		Ca ²⁺	710	+95
		Mg ²⁺	720	+105
		Eu ³⁺	730	+115

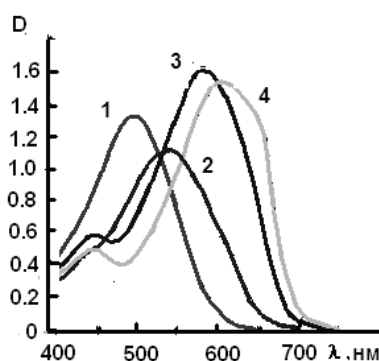


Рис. 6. Спектры поглощения фотоиндуцированной формы хромена XV без (1) и в присутствии ионов Sr^{2+} (2), Mg^{2+} (3) и La^{3+} (4).

Для спирооксазинов XIV (CO 1: $R=H$; CO 2: $R=$ ; CO 3: $R=$ ; CO 4: CN) направление спектрального сдвига максимума полосы поглощения мероцианиновой формы зависит от природы заместителей (рис.7).

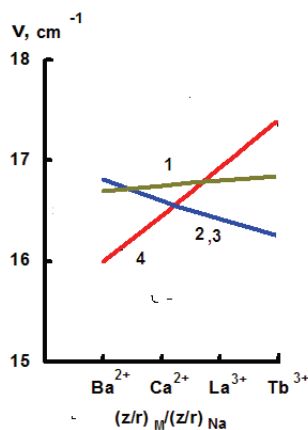


Рис.7. Зависимость положения полос поглощения фотоиндуцированной мероцианиновой формы спирооксазинов CO 1 (1), CO 2 (2), CO 3 (3) и CO 4 (4) в ацетонитриле ($C = 2 \cdot 10^{-4}$ M, $[CO]/[M] = 1:100$) от ионного потенциала катиона металла

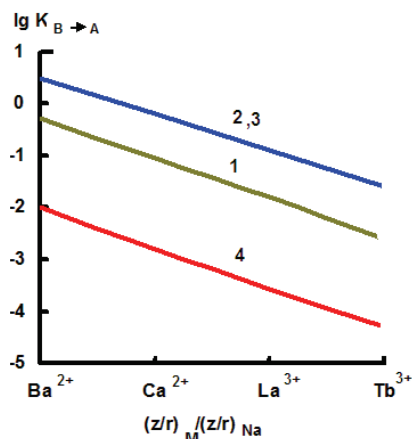


Рис.8. Зависимость константы скорости реакции термической релаксации фотоиндуцированной мероцианиновой формы спирооксазинов CO 1 (1), CO 2 (2), CO 3 (3) и CO 4 (4) в ацетонитриле ($C = 2 \cdot 10^{-4}$ M, $[CO]/[M] = 1:100$) от ионного потенциала катиона металла.

Отсутствие заметных спектральных сдвигов спирооксазина CO 1 при введении в раствор катионов металлов свидетельствует о низкой величине отрицательного заряда на фенолятном атоме кислорода вследствие хиноидного характера мероцианиновой формы. Гипсохромный сдвиг полос поглощения мероцианиновой формы соединений с электроно-донорными заместителями (CO 2 и CO 3) можно объяснить уменьшением поляризуемости молекулы в возбужденном состоянии. В противоположность этому, при введении в то же положение электроно-акцепторного заместителя (спирооксазин CO 4) наблюдается bathochromный сдвиг полосы поглощения мероцианиновой формы вследствие более высокой поляризуемости этой формы в возбужденном состоянии.

Уменьшение длины цепи сопряжения мероцианиновой формы, наблюдаемое для соединений с электроно-донорными заместителями, приводит к увеличению константы скорости темнового замыкания спирооксазинового цикла (рис.8, кр.2,3). Повышение стабильности окрашенной формы соединения CO 4 (рис.8, кр.4), по-видимому, является следствием увеличения потенциального барьера реакции термической релаксации мероцианиновой формы в исходную спирооксазиновую вследствие значительного разделения зарядов между атомами азота индолинового фрагмента и цианогруппой.

Для определения ионов металлов предложено использовать синтезированные сопряженные полифлуорены с бипиридиловыми фрагментами в основной цепи в качестве флуоресцентных сенсоров ионов переходных металлов [62].

Изучена фотоиндуцированная агрегация молекул фотохромных спирособъединений в растворах и полимолекулярных слоях [31. 45-48, 51, 53, 90,

175,179]. Установлена зависимость между эффективностью агрегации фотоиндуцированной мероцианиновой формы и ее структурой. Для иллюстрации на рис. 9 и 10 представлены спектральные изменения, свидетельствующие об агрегации молекул спиропиранов 2 типов:

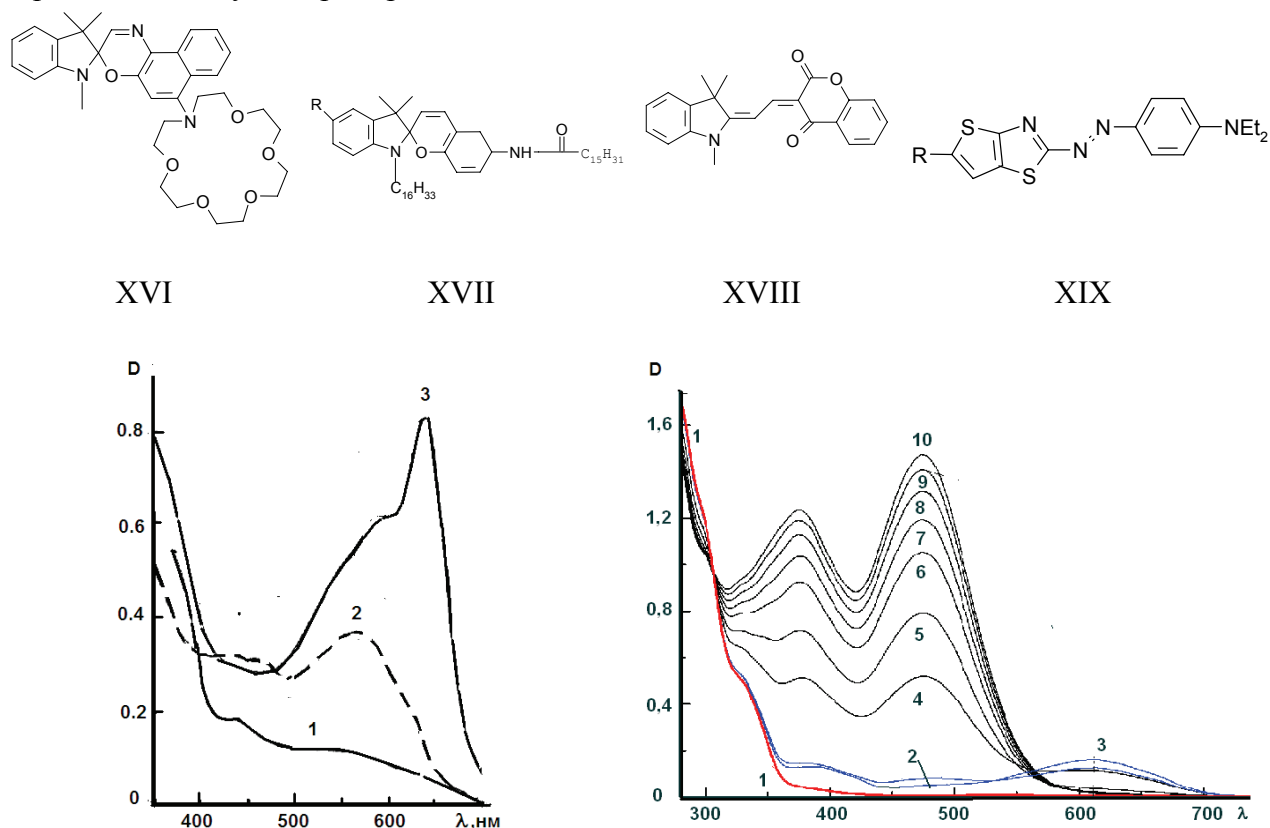


Рис.9. Спектры поглощения спирооксазина XVI в толуоле до (1), после кратковременного (2) и длительного (3) УФ облучения.

Рис.10. Спектры поглощения спиропирана XVII в этаноле до (1), после кратковременного (2,3) и длительного (4-10) УФ облучения.

Впервые для спирокумаринпирана XVIII обнаружено эффективное образование J – агрегатов, сопровождающееся резонансной флуоресценцией (рис.11)[47].

Такие полимолекулярные слои проявляют нелинейно–оптические свойства (рис.12) [29,47,50,51,63].

Обнаружена генерация второй гармоники в случае полимолекулярных слоев других фотохромных спиросоединений [47,50,51], а также азо- XIX (рис.13) [117] и цианиновых красителей [174].

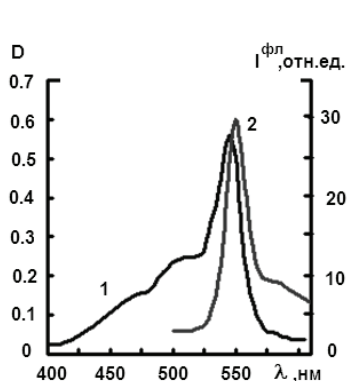


Рис. 11. Спектр поглощения (1) и флуоресценции (2) спирокумарина XVIII в пленке Ленгмюра-Блоджетт.

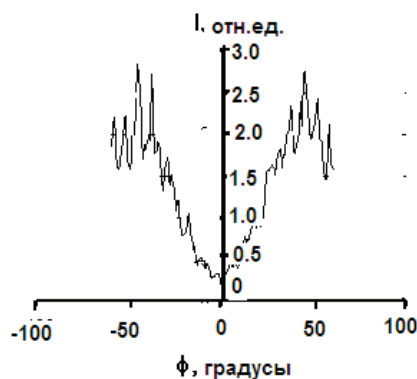


Рис. 12. Зависимость интенсивности второй гармоники лазерного излучения от угла падения возбуждающего луча на пленку Ленгмюра-Блоджетт спирокумарина XVIII.

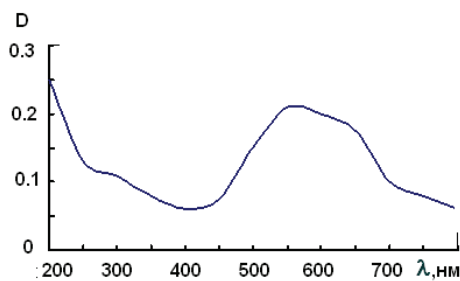


Рис. 13. Спектр поглощения (1) и флуоресценции (2) азокрасителя XIX в пленке Ленгмюра-Блоджетт.

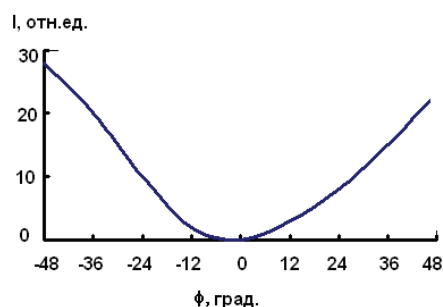
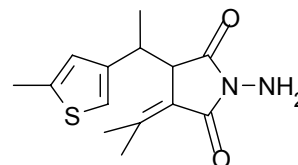
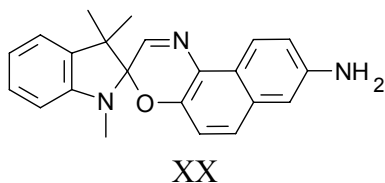
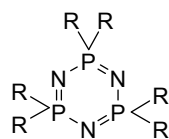


Рис. 14. Зависимость интенсивности второй гармоники лазерного излучения от угла падения возбуждающего луча на пленку Ленгмюра-Блоджетт азокрасителя XIX.

Разработаны методы молекулярного моделирования фотохромных соединений из классов спиросоединений и фульгимидов [84]. Выявлены структурные и стерические факторы, влияющие на спектральные характеристики фотохромных соединений. С использованием синтезированных функционализированных фотохромных соединений, а именно спирооксазина XX и фульгимида XXI, а также трифосфазена XXII, использованного в качестве темплейта, показана возможность создания фотохромных нанокластеров (рис.15).



XXIa



XXII

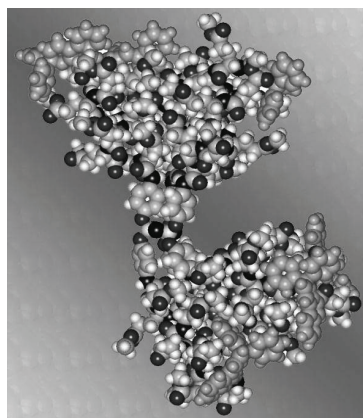
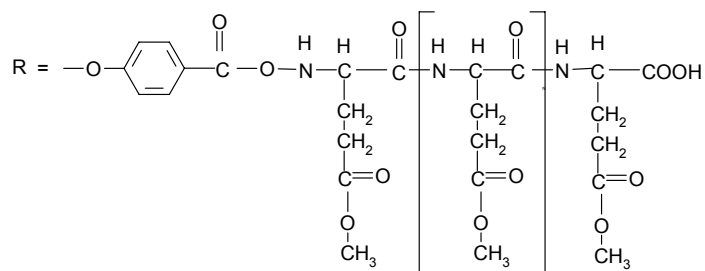
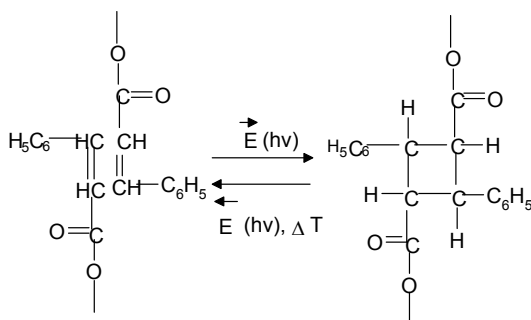


Рис.15. Смоделированный фотохромный кластер с использованием трифосфазена и асмно-замещенного спирооксазина.

Исследовано явление фотоиндуцированной анизотропии поглощения и преломления, наблюдаемое в фотохромных и фотополимеризующихся полимерных слоях [118]. В качестве объектов исследования использовались поливинилциннамат XXIII и его производные.



XXIII

В основе явления лежит фотосшивка близко расположенных полимерных цепей, имеющих одинаковое расположение по отношению к вектору поляризации активирующего излучения.

Обнаружено и изучено явление термоиндуцированной анизотропии в механически ориентированных полимерных пленках различной природы, выпускаемых промышленностью. Запись изображений, которые визуализируются в

поляризованном свете с помощью поляроидов, осуществляется за счет разрушения существующей анизотропии пленок при воздействии тепла.

Исследовано влияние полимерного связующего на свойства фотохромных соединений [69-74]. Показано, что за счет использования сополимеров возможно увеличение свободного молекулярного объема, способствующего повышению эффективности фотохромных превращений соединений различных классов.

Установлено, что на основе мономерных фотохромных функционализированных соединений из классов диарилэтенов и фульгимидов можно получать фотохромные полимеры с приемлемыми фотохромными свойствами (рис.16, 17)[152-159,170]. Фотохромные полимеры типа XXIV содержат фотохромные фрагменты, в частности диарилэтены, в полимерной цепи. Фотоиндуцированные спектральные изменения таких полимеров представлены на рис.16

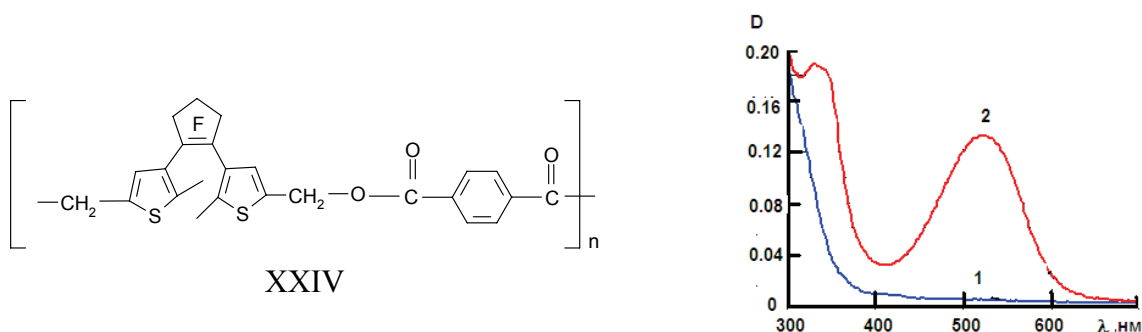


Рис. 16. Спектры поглощения фотохромного полимера XXIV в поликарбонате (10 вес. % от веса сухого полимера) до (1) и после облучения УФ светом (2).

Более перспективным представляется функционализация поверхности полимера, в частности, полиакрилата (ПАР), которая обеспечивает валентное связывание функционализированных фотохромных соединений, в частности фульгимида XXV [170]. Такой подход к получению фотохромных полимеров обеспечивает высокую светочувствительность (рис. 17) и исключает диффузию фотохромных соединений в полимерном слое.

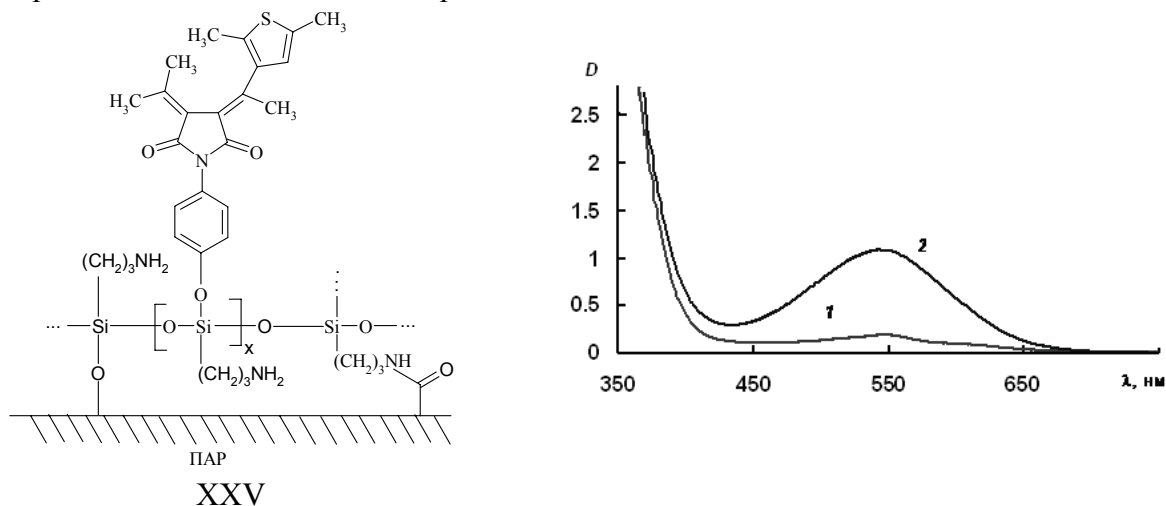
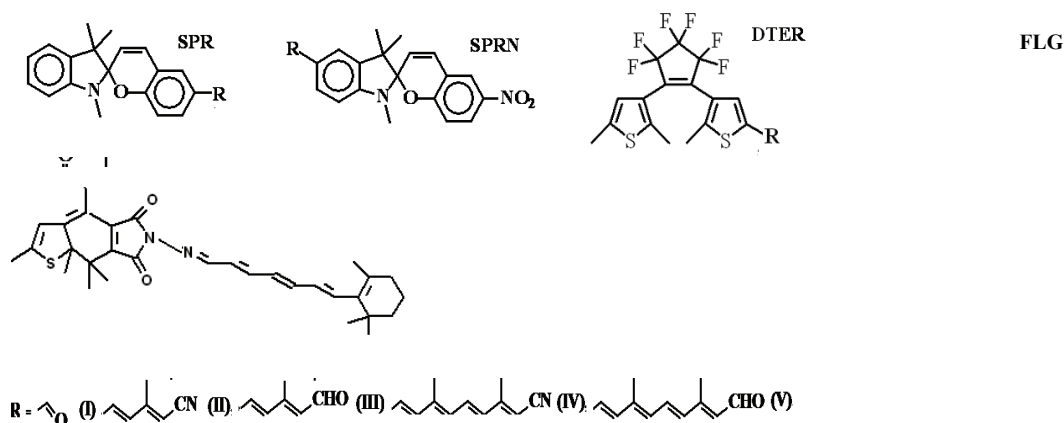


Рис.17. Спектры поглощения пленки фотохромного полимера XXV до (1) и после (2) УФ облучения.

С целью создания фотоуправляемых биообъектов проведено исследование, в результате которого показано, что целевой синтез фотохромных ретиналей на основе функционализированных фотохромных соединений из классов спиропиранов, диарилэтанов и фульгимидов может обеспечить замену бактериородопсина в биообъектах [74-79, 180-183].



На рис. 18 и 19 представлены спектры поглощения фотохромных ретиналей из класса спиропиранов.

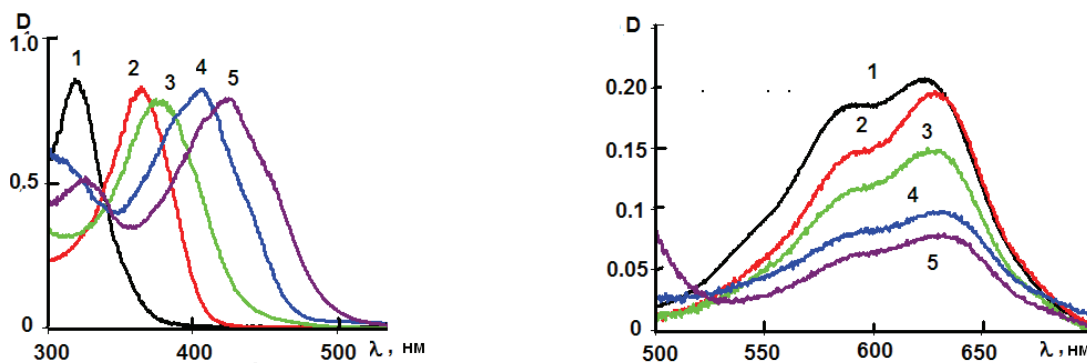


Рис. 18. Спектры поглощения исходной циклической формы ретиналей спиропиранов: SPRN I (1), SPRN II (2), SPRN III (3), SPRN IV (4), SPRN V (5).

Рис. 19. Спектры поглощения фотоиндуцированной мероцианиновой формы ретиналей спиропиранов: SPRN I (1), SPRN II (2), SPRN III (3), SPRN IV (4), SPRN V (5).

Из рис. 18 видно, что с увеличением длины цепи ретинальной группы наблюдается bathochromic shift (красное смещение) полос поглощения исходной спиропирановой формы. В то же время эффективность фотохромных превращений падает, о чем свидетельствует снижение интенсивности полос поглощения фотоиндуцированной мероцианиновой формы в фотостационарном состоянии (рис. 19).

На рис. 20 и 21 представлены фотоиндуцированные спектральные изменения для производных диарилэтена и фульгиимида, содержащих ретинальные группы.

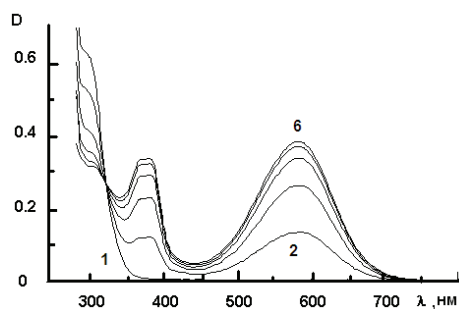


Рис. 20. Спектры поглощения диарилэтена DTER I в толуоле FLG до (1) и после УФ облучения (2-6).

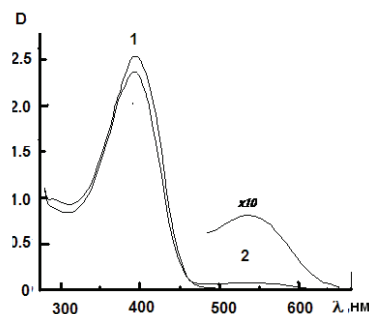
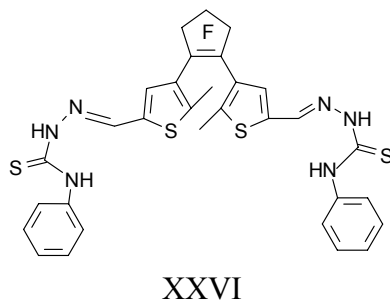


Рис. 21. Спектры поглощения фульгиимида FLG в толуоле до (1) и после УФ облучения (2).

На основе функционализированных фотохромных серосодержащих соединений из классов спиропиранов, спирооксазинов, хроменов, фульгимидов, диарилэтенон разработаны методы получения фотохромных наночастиц с использованием органических и неорганических наночастиц, включая наночастицы благородных металлов (золота, серебра), и изучены их фотохромные свойства [162, 184]. В частности, для NH-содержащего диарилэтена XXVI [162]:



Этот диарилэтен был использован для химического взаимодействия с поверхностью наночастиц серебра, которое проявлялось в фотоиндуцированном изменении спектров поглощения (рис.20) и кинетике реакции фотоциклизации (рис. 21).

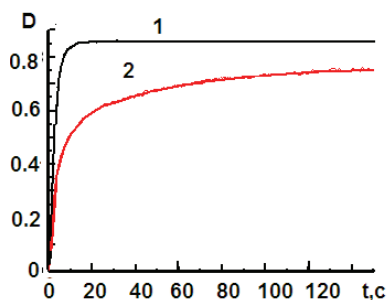
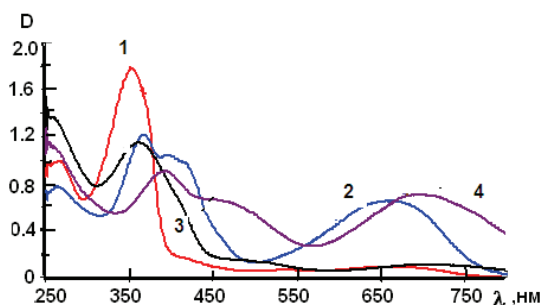


Рис. 22. Спектры поглощения диарилэтена XXVI в диметилсульфоксиде до (1,3) и после (2,4) УФ облучения раствора без (1,2) и в присутствии (3,4) наночастиц Ag.

Рис.23. Кинетические кривые фотоциклизации диарилэтена XXVI в диметилсульфоксиде без (1) и в присутствии (2) наночастиц Ag.

3. Прикладные исследования

На основе результатов фундаментальных исследований был выполнен ряд работ, направленных на создание научных основ создания и применения светочувствительных органических систем в различных областях науки и техники.

В последние 10 лет наибольшее внимание уделялось разработке светочувствительных регистрирующих сред для трехмерной (3D) побитовой оптической памяти [13-17, 134-140, 142-151, 161, 166, 185]. В результате были разработаны научные основы создания фотохромных и необратимых фотофлуоресцентных органических регистрирующих сред для оптических дисков со сверх высокой информационной емкостью (более 1 Тбайт).

В основу разработки было получено открытое нами в 1972 г. явление двухфотонного фотохромизма [186], проявляющегося при нелинейном процессе двухфотонного возбуждения в условиях мощных лазерных импульсов нано-, пико- и фемтосекундной длительности (рис. 24). В отличие от линейного возбуждения фотохромного материала сфокусированным активирующим излучением (рис.25, левая часть) нелинейное двухфотонное возбуждение имеет пороговое значение по мощности излучения и обеспечивает локальное превращение фотохромного материала (рис. 25, правая часть).

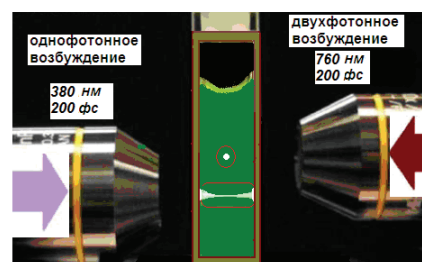
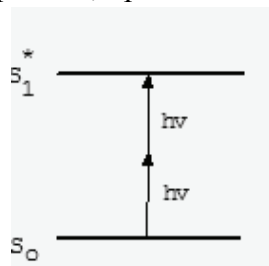


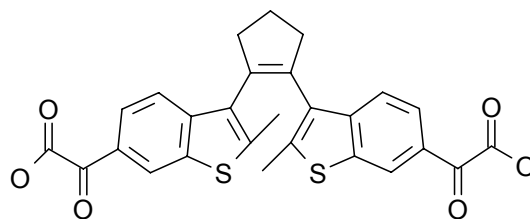
Рис. 24. Схема двухфотонного возбуждения светочувствительного материала.

Рис.25. Фотография, демонстрирующая различие одно- и двухфотонного процессов возбуждения фотохромных превращений раствора диарилэтена.

Для разработки фотохромных регистрирующих сред были использованы результаты сравнительного спектрально-кинетического исследования фотохромизма более 500 термически необратимых соединений из трех классов, а именно хинонов IV, диарилэтен VII и фульгимидов VIII. Оказалось, что диарилэтены наиболее удовлетворяют требованиям данного применения, обладая высокой эффективностью поглощения света и фотохромных превращений; термической стабильностью обеих форм; высокой устойчивостью обеих форм к

необратимому фотохимическому и термическому превращению соединений, возможностью неdestructивного считывания оптической информации за счет фотоиндуцированного изменения показателя преломления и флуоресцентных свойств.

С использованием диарилэтена XXVII и полиметилметакрилата (ПММА) была разработана фотохромная регистрирующая среда с неdestructивным рефрактивным считыванием информации на длине волны гелий-неонового лазера ($\lambda=632,8$ нм).



XXVII

Это было достигнуто за счет выбора фотохромного соединения со спектром поглощения, обеспечивающим получение дисперсионной кривой показателя преломления с максимумом, совпадающим с длиной волны излучения гелий-неонового лазера (рис.26). Поскольку на этой длине волны поглощение регистрирующей среды в фотоактивированном состоянии незначительно, то оказалось возможным реализовать неdestructивное рефрактивное считывание оптической информации.

Величина фотоиндуцированного изменения показателя преломления зависит от концентрации фотохромного соединения в регистрирующем слое (рис. 27).

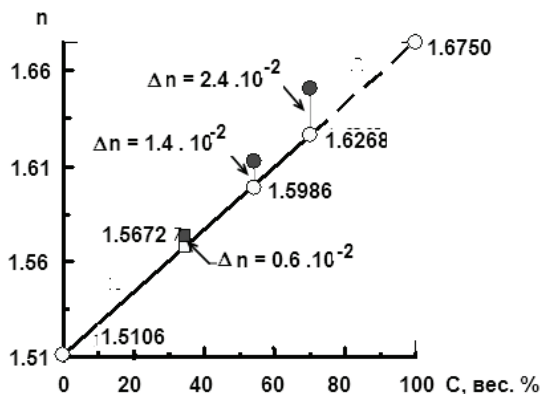
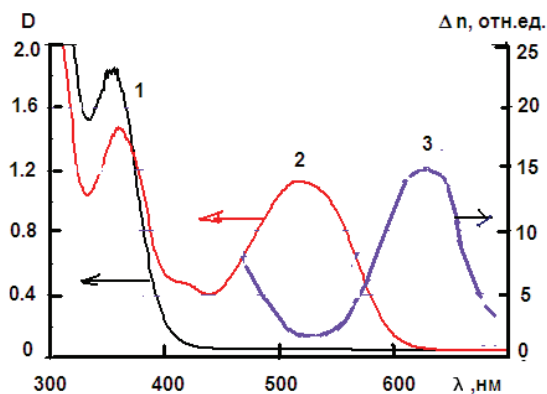


Рис. 26. Спектры поглощения полистирольной пленки, содержащей диарилэтен XXVII, до (1) и после (2) облучения УФ светом, а также фотоиндуцированная дисперсионная кривая (3), соответствующая спектру поглощения фотоиндуцированной циклической формы диарилэтена.

Рис.27. Зависимость показателя преломления полиуретановой пленки, содержащей диарилэтен XXVII, в зависимости от концентрации фотохромного соединения в слое до (○) и после (■) УФ облучения. Пунктирная часть прямой получена экстраполяцией.

При высоком содержании фотохромного диарилэтена XXVII ($C=70$ вес. %) фотоиндуцированное изменение показателя преломления фотохромной полимерной пленки на длине волны $\lambda=632.8$ нм достигает величины $\Delta n^{\text{фот}} = 2.4 \cdot 10^{-2}$.

Фотохромные регистрирующие среды с неdestructивным флуоресцентным считыванием оптической информации были основаны на использовании явления флуоресцентного резонансного переноса энергии возбуждения от донора-флуорофора к акцептору – фотоиндуцированной циклической форме диарилэтена. Обязательным условием для реализации этого эффекта являлось максимальное перекрытие полосы флуоресценции флуорофора и полосы поглощения фотоиндуцированной циклической формы диарилэтена. Неdestructивное флуоресцентное считывание оптической информации достигалось за счет возбуждения флуоресценции флуорофора вне полос поглощения исходной и фотоиндуцированной форм фотохромного соединения.

В качестве флуорофора использовался феноленон XXVIII в комбинации с диарилэтенем XXVII.

Рис. 28 демонстрирует спектрально-флуоресцентные свойства феноленона.

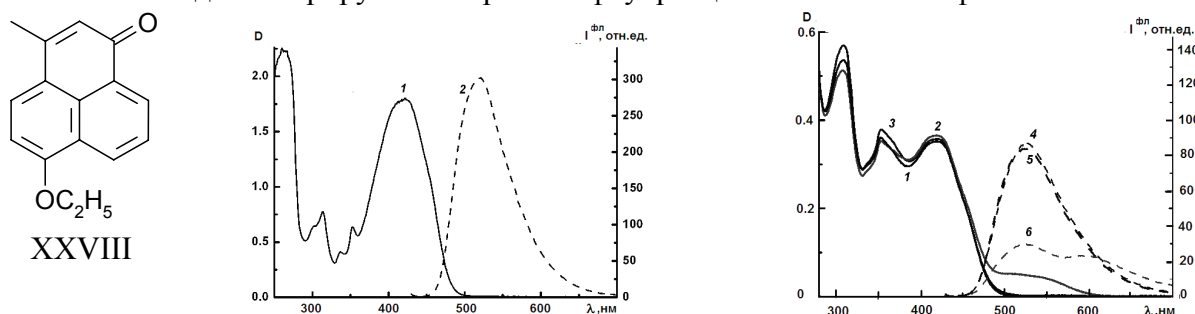


Рис. 28. Спектры поглощения (1) и флуоресценции (2) феноленона в ПММА пленке.

Рис.29. Спектры поглощения (1-3) и флуоресценции (4-6) фотохромной ПММА пленки, содержащей феноленон и диарилэтен XXVII, приготовленной методом спин-коутинга ($C=0.5$ вес. % для обоих соединений) до (1,5) и после (2,6) УФ облучения через светофильтр УФС-1 и последующего воздействия видимого света через светофильтр ЖС=26 (3,4).

Из рис. 29 видно, что попеременное облучение УФ и видимым светом приводит к модуляции интенсивности флуоресценции при ее возбуждении светом с длиной волны $\lambda=420$ нм, не вызывающим фотохромных превращений диарилэтена.

Разработанные фотохромные слои предназначены для создания многослойных оптических дисков, представляющих собой фотохромные полимерные слои, чередующиеся с оптически прозрачными полимерными слоями, обеспечивающими считывание оптической информации из каждого информационного слоя (рис.30). Схематическое представление многослойных оптических дисков с рефрактивным и флуоресцентным считыванием представлены на рис. 31 и 32, соответственно.

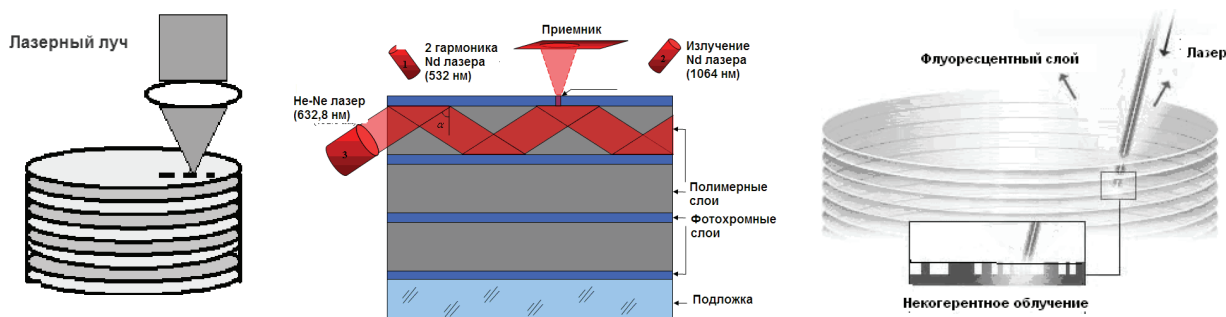


Рис. 30. Схематическое представление многослойного оптического диска для побитовой записи и воспроизведения оптической информации.

Рис.31. Схематическое представление многослойного оптического диска с неdestructивным рефрактивным считыванием оптической информации

Рис.32. Схематическое представление многослойного оптического диска с неdestructивным флуоресцентным считыванием оптической информации.

Во всех случаях запись информации осуществлялась при двухфотонном возбуждении фотохромных превращений. Только такое возбуждение обеспечивало запись информации в каждом слое без потерь мощности записывающего излучения.

Разработана технология получения многослойных полимерных структур, состоящих из фотохромных полимерных слоев, полученных методом спин-коутинга, и полимерных волноводных слоев, изготовленных методом фотополимеризации (рис. 33).

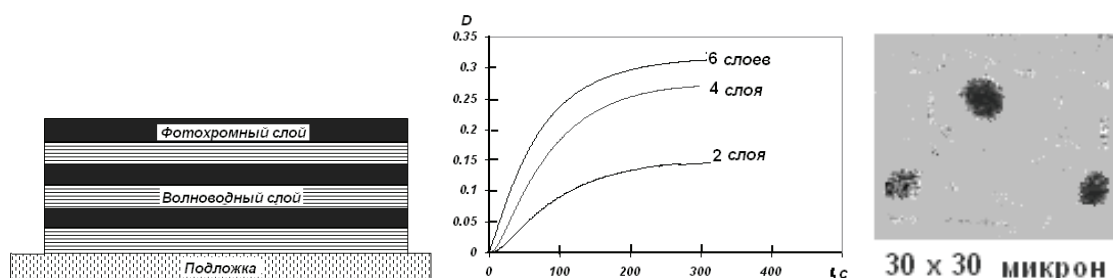


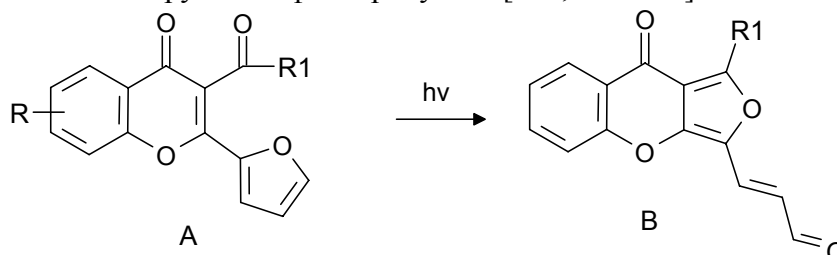
Рис.33. Экспериментальный образец многослойных фотохромно-волноводных полимерных структур.

Рис. 34. Кинетические кривые фотоокрашивания 2-, 4 - и 6 - слойных фотохромных полимерных структур.

Рис.35. Фотография, демонстрирующая восстановление питов информации флуоресцентным методом из трех фотохромных слоев в 6-слойной структуре.

Из рис. 34 видно, что с увеличением количества фотохромных слоев оптическая плотность в максимуме полосы поглощения циклической формы диарилэтена XXVII возрастает. Флуоресцентный метод считывания оптической информации обеспечивает эффективное восстановление изображений, зарегистрированных в различных фотохромных слоях (рис.35).

Для разработки многослойных оптических дисков архивного типа были получены светочувствительные полимерные слои на основе соединений из класса хромонов, испытывающих необратимые фотопревращения нелюминесцирующей формы А в люминесцирующий фотопродукт В [185, 187-189]:



На рис. 36 представлены спектрально-люминесцентные характеристики полистирольной пленки, содержащей хромон XXIX.

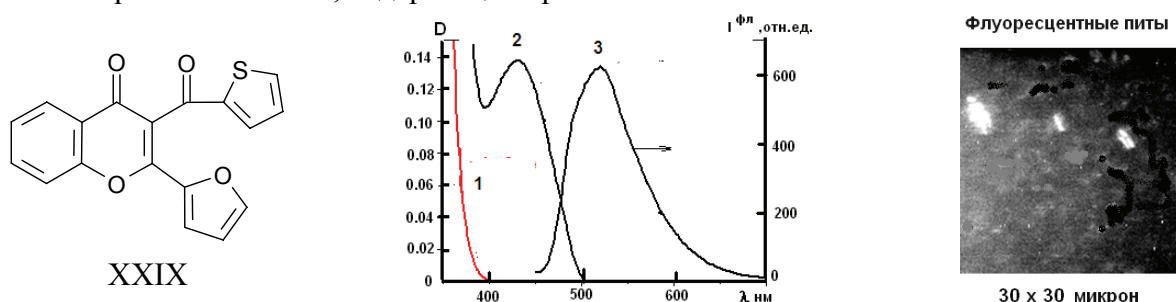


Рис.36. Спектры поглощения (1,2) и флуоресценции (3) хромона XXIX в полистирольной пленке толщиной 130 мкм ($C=0.5$ вес. %). Флуоресценция возбуждалась светом с длиной волны максимума полосы поглощения фотопродукта (420 нм).

Рис.37. Фотография, демонстрирующая флуоресцирующие питы информации, восстановленные из трех фотофлуоресцентных слоев на основе хромона XXIX, входящих в состав 6-слойной структуры регистрирующей среды.

Для реализации архивной трехмерной оптической памяти, кроме многослойных оптических дисков, используются также голографические оптические диски с толстослойной светочувствительной регистрирующей средой на основе фотополимеризующихся композиций различного типа (рис.38). Такая регистрирующая среда обеспечивает запись большого количества голограмм под различными углами падения лазерных пучков (рис.39), что невозможно в тонких светочувствительных слоях (рис.40).

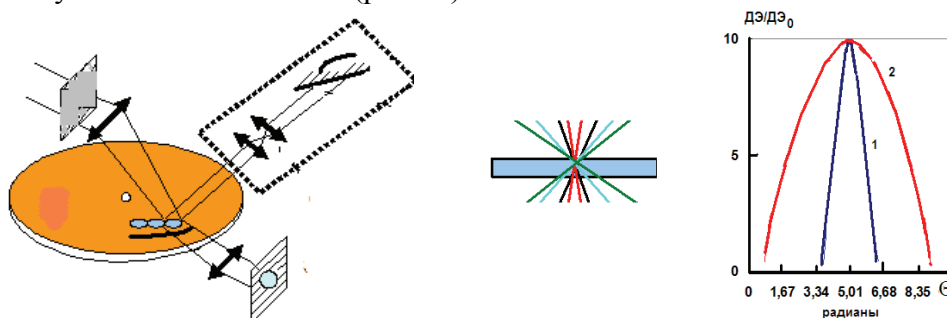


Рис. 38. Схематическое представление трехмерной оптической памяти с использованием голографических оптических дисков.

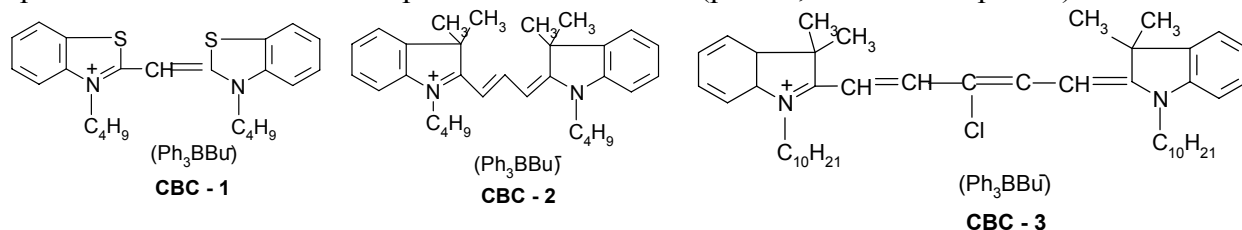
Рис.39. Схема записи голограмм в толстослойной регистрирующей среде под различными углами падения интерферирующих лазерных пучков.

Рис.40. Угловая селективность тонкой (10 мкм) (1) и толстой (3 мм) (2) регистрирующей среды при записи голограмм лазерными пучками, падающими под различными углами.

Для совершенствования голографических регистрирующих сред были разработаны фотохромные сенсibilизаторы и фотополимеризующиеся композиции на их основе для архивной голографической 3D оптической памяти [19-26, 52-56]. Предложенные для толстослойных регистрирующих сред фотохромные сенсibilизаторы фотополимеризации (спиропираны, феноксинафтаценхины и диарилэтены) обеспечивают трехмерную архивную запись и считывание оптической информации без температурной обработки.

Созданы также фотополимеризующиеся композиции для технологических приложений голографического метода [190].

С использованием фотополимеризующихся композиций, лейкокрасителей и кислотных компонентов разработаны образцы высокочувствительных несеребряных регистрирующих сред типа Cusolog для получения и размножения цветных изображений [191]. Цветное изображение получалось в результате трехстадийного процесса, включающего фотополимеризацию акрилатной композиции, помещенной в микрокапсулы, механическое разрушение незаполимеризованных микрокапсул и термически ускоряемую химическую реакцию взаимодействия цветообразующего лейкокрасителя с кислотным реагентом, приводящего к образованию красителей и, следовательно, цветного изображения. Цвет получаемого изображения определялся природой выбранного лейкокрасителя, а область спектральной светочувствительности - применяемыми красителями –сенсibilизаторами СВС-1 – СВС-3 (рис.41, сплошные кривые).



Разработанные сенсibilизаторы по своим спектральным свойствам в значительной степени удовлетворяли спектральным характеристикам, обеспечивающим правильную цветопередачу (рис. 41, пунктирные кривые).

Способ получения цветных изображений достаточно прост и заключался в протаскивании микрокапсулированного светосветочувствительного слоя вместе с приемным слоем, содержащим кислотные реагенты, через нагревающее устройство, обеспечивающее раздавливание микрокапсул, не подвергнутых фотополимеризации (рис. 42).

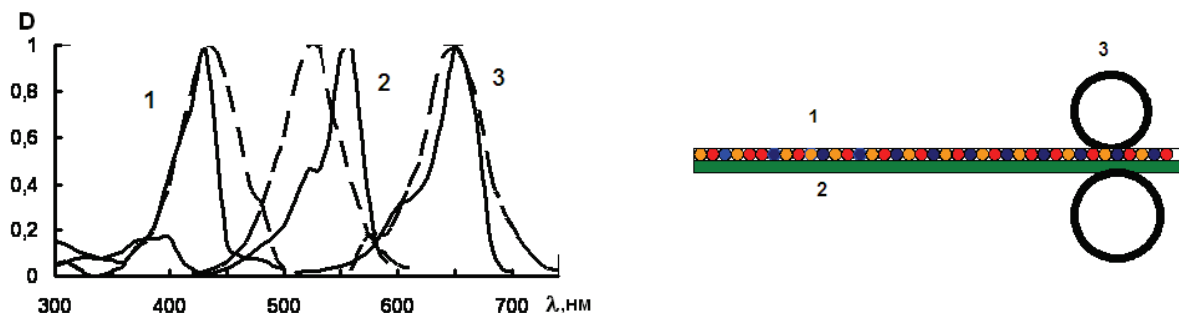
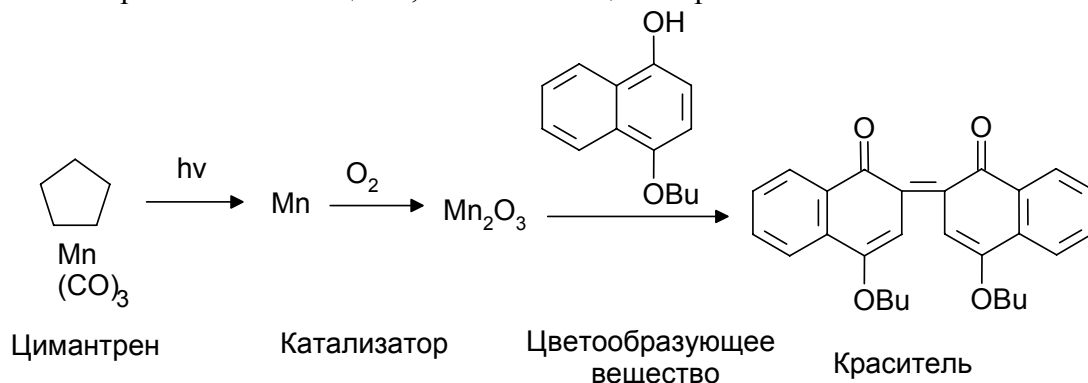


Рис. 41. Спектры поглощения красителей-сенсibilizаторов в толуоле: СВС -1 (1), СВС -2 (2), СВС -3 (3). Требования к спектральным характеристикам сенсibilizаторов-штриховые кривые.

Рис. 42. Схема устройства для получения цветного изображения: светочувствительный слой (1); приемный слой (2); нагреваемые валики (3).

Получаемое изображение является позитивным. Показано, что светочувствительность разработанных регистрирующих сред этого типа может достигать величины $S=1 \cdot 10^4 \text{ см}^2 / \text{Дж}$.

Получены также образцы бессеребряных фотоматериалов с сухим методом усиления изображения и светочувствительностью галогенидо-серебряных фотобумаг [192]: с использованием фотокаталитической реакции окисления органических соединений, протекающей при нагревании продуктов фотолиза элементоорганических веществ, в частности цимантрена:



Созданный бессеребряный фотоматериал этого типа содержит в качестве светочувствительного соединения цимантрен или его производное, цветообразующее вещество, введенные в полимерное связующее, в частности полистирол или триацетатцеллюлозу. Под действием света цимантрен испытывает необратимое фотопревращение с образованием марганца и продуктов его окисления, которые являются катализаторами превращения бесцветного цветообразующего вещества, в краситель. Непрореагировавший цимантрен при нагревании слоя испаряется. В результате полимерный слой становится несветочувствительным, а изображение закрепляется (рис.43).

На рис.44 приведена экспозиционная характеристика для одного из образцов этого фотоматериала. Чувствительность к УФ излучению достигает $S=10^4$ см²/Дж (ΔD фот=1,0), а температура термического проявления не превышает 120⁰ С.

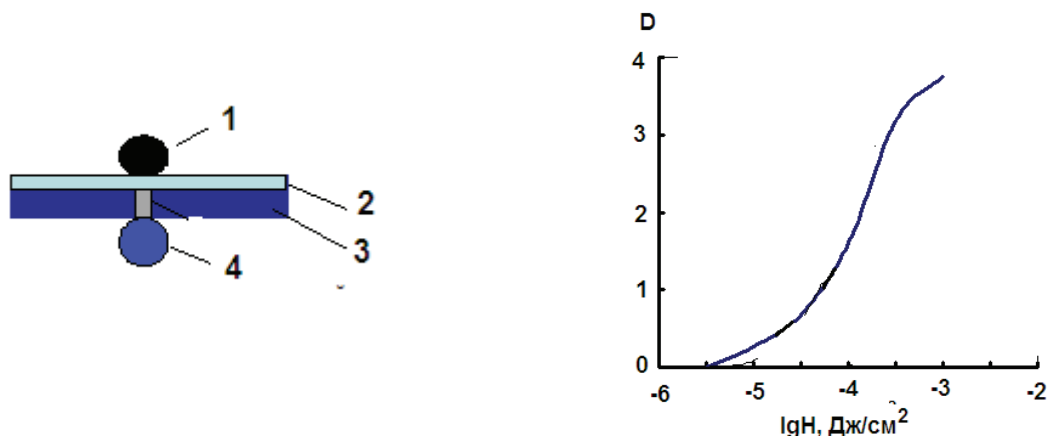
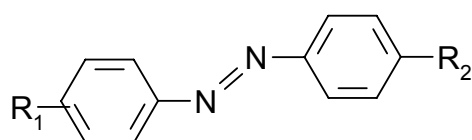


Рис. 43. Схема устройства для получения изображения на фотоматериале, основанном на фотокаталитическом окислении органических соединений: нагреваемый металлический валик (1); светочувствительный слой с изображением (2); бумажная подложка (3); прижимной валик (4).

Рис. 44. Характеристическая кривая для образца бессеребряного фотоматериала на основе фотокаталитического окисления органических соединений.

Разработаны свето- и термочувствительные анизотропные регистрирующие среды для идентификации документов и изделий [118]. Запись скрытого изображения основана либо на рассмотренной выше необратимой фотосшивке полимерных цепей поливинилциннамата и его производных, либо на обратимой фотоориентации полярных молекул под действием поляризованного света, поглощаемого регистрирующей средой. Для изготовления образцов фотоанизотропных полимерных слоев с обратимой фотоориентацией молекул использовались азокрасители XXX с электроно-донорными (R_1) и электроно-акцепторными (R_2) заместителями:



XXX

В случае фотоанизотропных сред этого типа изображение формируется в результате обратимой фотоориентации и цис-транс изомеризации азокрасителей (рис.45).

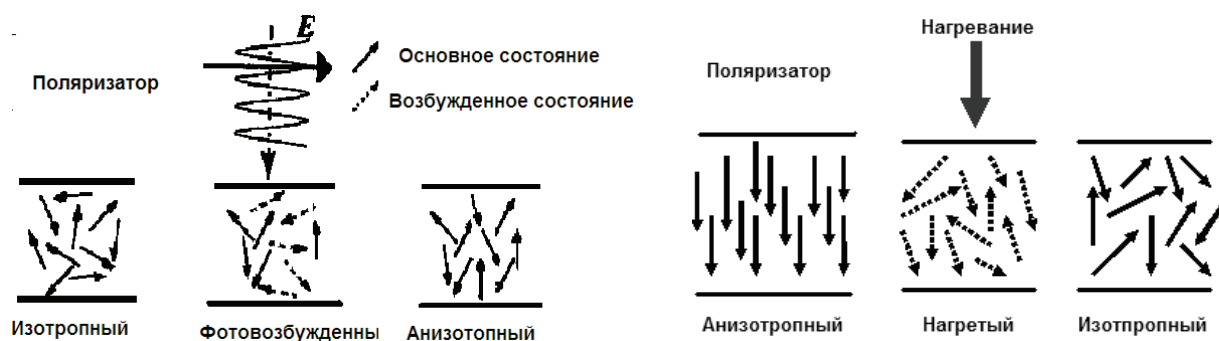


Рис.45. Схема получения анизотропного изображения в светочувствительном материале.

Рис. 46. Схема получения анизотропного изображения в термочувствительном материале.

В термочувствительном материале анизотропное изображение получалось в результате термического разрушения естественной анизотропии промышленно выпускаемых полимерных пленок, в которых анизотропия наводится в процессе их производства (рис.46).

Анизотропное изображение, получаемое в свето- и термочувствительных регистрирующих средах, визуализировалось в поляризованном свете (рис. 47).

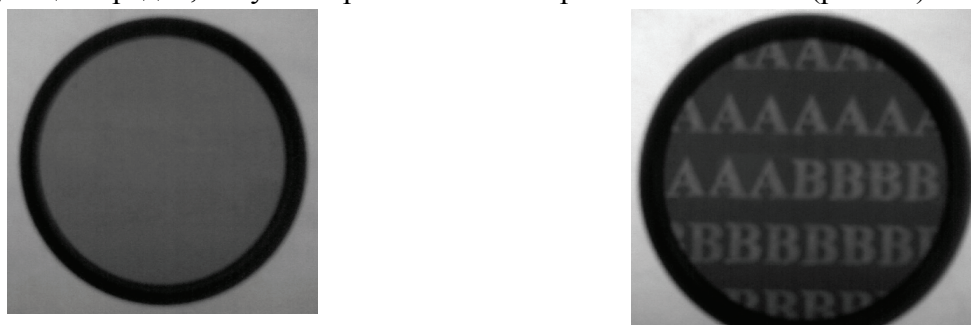


Рис. 47. Фотографии образца материала в поляризованном свете до (1) и после (2) формирования анизотропного изображения.

Впервые разработана маскирующая фотохромная полимерная пленка, обеспечивающая повышение разрешения в фотолитографии, основанной на применении эксимерных лазеров с длиной волны излучения 193 нм [164]. В связи с этим было проведено систематическое исследование эффективности и обратимости модуляции светового потока на этой длине волны (193 нм) фотохромными органическими соединениями в зависимости от их структуры. В результате исследования более 200 фотохромных соединений из различных классов было найдено соединение из класса фотохромных диарилэтанов XXXI, на основе которого была создана фотохромная полимерная маска толщиной 450 нм с высокой эффективностью модуляции излучения на длине волны 193 нм (рис.48), обеспечивающая повышение разрешения лазерной нанолитографии до рекордного уровня - 22 нм.

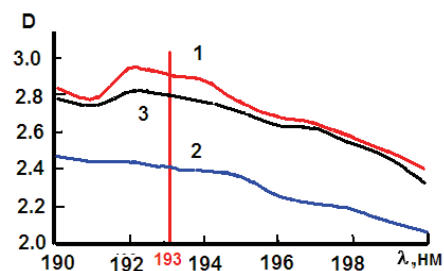
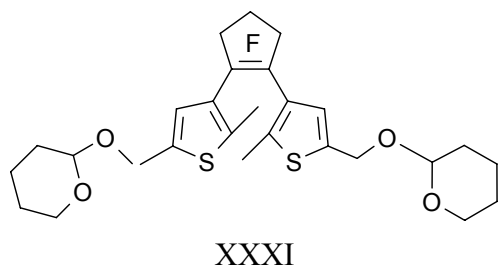


Рис.48. Спектры поглощения полимерной пленки с фотохромным диарилэтенем XXXI до (1), после воздействия УФ светом (2) и последующего облучения видимым светом (3).

Значительное внимание уделялось разработке фотохромных полимерных материалов для защиты от солнечного излучения, автоматически изменяющих свое светопропускание в зависимости от освещенности. В рамках сотрудничества с фирмой Corning (США, Франция) был синтезирован ряд фотохромных спирооксазинов и хроменов, результаты исследования которых позволили создать фотохромные полимерные линзы для коммерческих фотохромных солнцезащитных очков [32-35, 97,98].

На основе результатов фундаментальных исследований разработаны оригинальные фотохромные многослойные пленки, обеспечивающие не только защиту от солнечного излучения за счет фотохромного эффекта, но и теплосбережение, достигаемое применением дополнительного наноразмерного оптически прозрачного ИК отражающего металлического слоя [81,82,193,194]. Такие фотохромные пленки предназначены для использования в остеклении жилых и производственных помещений, а также транспортных средств (рис. 49).

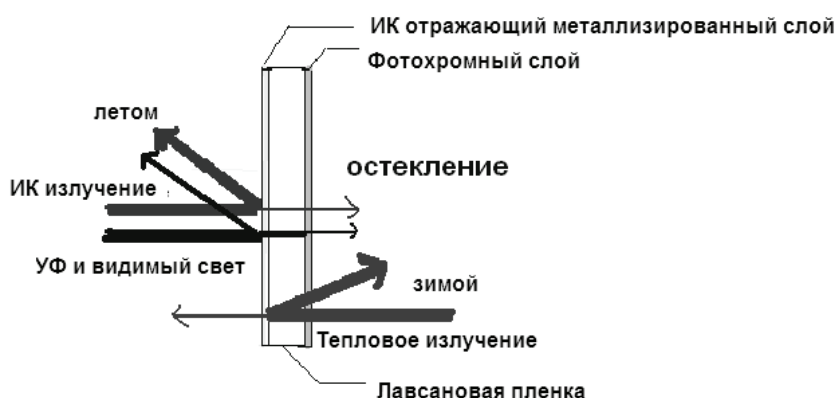


Рис. 49. Структура и принцип работы теплосберегающей фотохромной пленки.

Спектральные характеристики фотохромного полимерного слоя на основе сополимера АС и смеси нитрозамещенного спирооксазина и одного из хроменов

(рис.50). и ИК отражающего металлизированного слоя (рис.51) обеспечивают создание эффективных многослойных теплосберегающих фотохромных пленок.

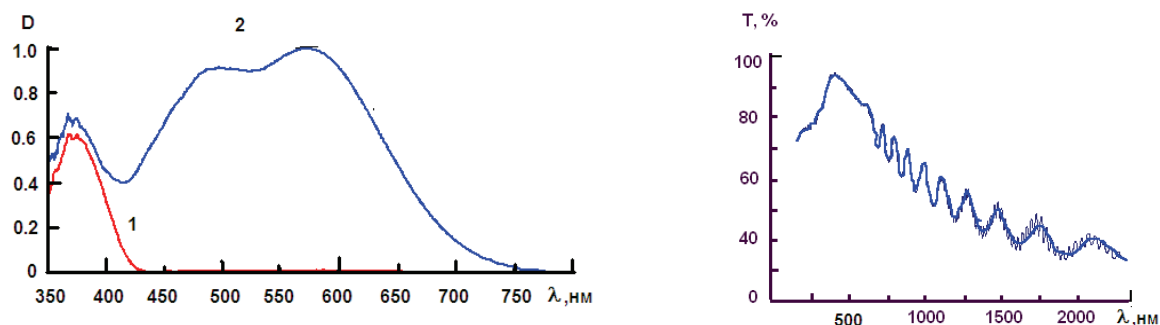


Рис. 50. Спектры поглощения фотохромного полимерного слоя до (1) и после (2) облучения светом, имитирующим солнечное излучение.

Рис. 51. Спектр пропускания металлизированного ИК отражающего слоя.

На основе органических фотохромных спирооксазинов и хроменов разработаны солнцезащитные триплексы, обеспечивающие не только реверсивное изменение светопропускания, но и защиту стекол от осколочного разрушения [83,99-102].. В качестве фотохромного соединения использовался ферроценильный хромен XXXII, характеризующийся широким спектром фотоиндуцированной формы (рис.52).

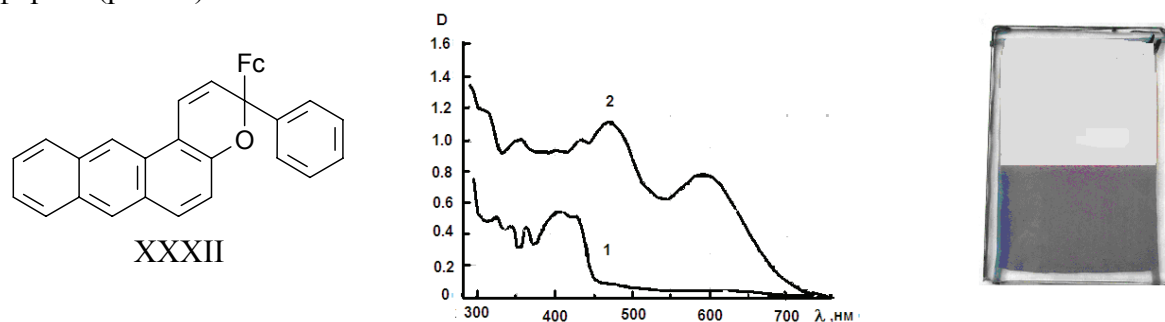


Рис. 52. Спектры поглощения фотохромного триплекса, полученного методом фотополимеризации акрилатной композиции, содержащей хромен XXXII, до (1) и после (2) воздействия излучения, имитирующего солнечный свет.

Рис. 53. Фотография образца фотохромного триплекса на основе хромена XXXII до (верхняя часть) и при облучении светом, имитирующим солнечное излучение (нижняя часть).

На рис. 54 и 55 представлены аналогичные результаты исследования фотохромного полимерного триплекса на основе спирооксазина XXXIII.

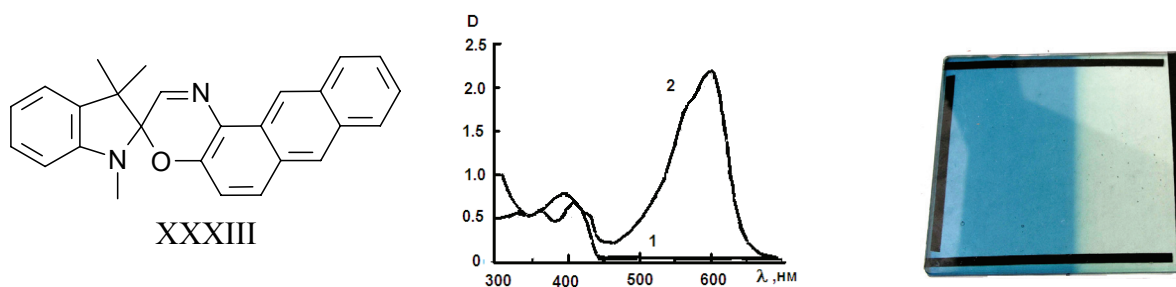


Рис. 54. Спектры поглощения фотохромного триплекса, полученного методом фотополимеризации акрилатной композиции, содержащей спирооксазина XXXIII, до (1) и (2) после воздействия излучения, имитирующего солнечный свет.

Рис. 55. Фотография образца фотохромного триплекса на основе спирооксазина XXXII до (правая часть) и при облучении светом, имитирующим солнечное излучение (левая часть).

Для создания промышленно значимого фотохромного остекления с высоким ресурсом работы на солнечном свете разработаны образцы полимерно-неорганических композитных фотохромных материалов на основе микрочастиц фотохромного силикатного стекла, содержащего светочувствительные нанокристаллы AgBr и испытывающие фотохромные превращения согласно схеме, представленной на рис. 56 [99,100,195,196]. В качестве полимерного связующего использовалась акрилатная композиция, в которую вводились предварительно полученные размолот микрочастицы размолотого фотохромного силикатного стекла, а также сополимеры, согласующие показатели преломления полимера и фотохромного стекла. После фотополимеризации такой композиции получались композитные полимерно-неорганические триплексы с приемлемыми фотохромными (рис.57) и оптическими (рис. 58) свойствами.

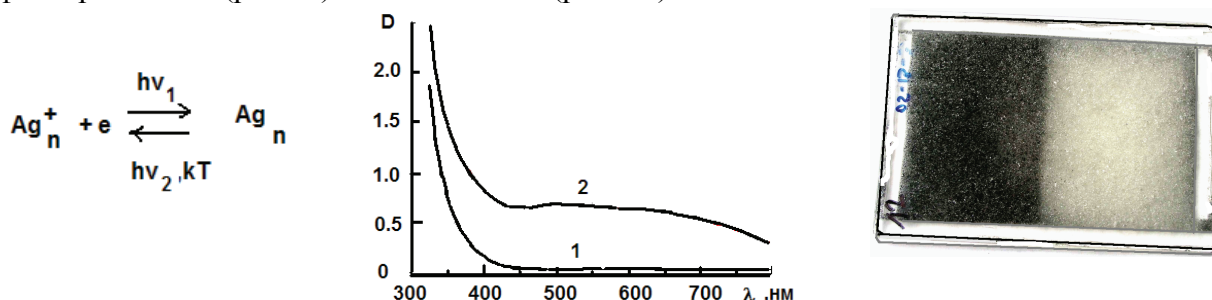


Рис. 56. Схема фотохромных превращений неорганического силикатного стекла на основе микрокристаллов AgBr.

Рис. 57. Спектры поглощения фотохромного триплекса, полученного методом фотополимеризации акрилатной композиции, содержащей микрочастицы силикатного стекла на основе AgBr, до (1) и после (2) воздействия излучения, имитирующего солнечный свет.

Рис. 55. Фотография образца фотохромного триплекса на основе акрилатной матрицы, содержащей микрочастицы силикатного стекла до (правая часть) и при облучении светом, имитирующим солнечное излучение (левая часть).

С использованием результатов фундаментального исследования процессов комплексообразования фотоиндуцированной мероцианиновой формы спиросоединений и хроменов разработаны научные принципы создания хемосенсоров и хемочипов, обеспечивающих селективное определение содержания катионов металлов в жидких средах природного и биологического происхождения [7, 161].

4. Заключение

В течение 15 лет (1997-2012 г.г.) выполнен значительный объем как фундаментальных, так и прикладных исследований в области синтеза и изучения свойств функционализированных светочувствительных органических соединений и систем на их основе, предназначенных для применения в информационных технологиях и светомодулирующих устройствах.

Основное внимание уделялось синтезу и изучению свойств фотохромных органических соединений и систем на их основе. Синтезирован ряд новых спирооксазинов и хроменов. Исследован механизм фотохромных превращений и зависимости структура - свойства для соединений из классов спиропиранов, спирооксазинов, хроменов, формазанов, феноксизамещенных хинонов, азокрасителей, диарилэтенов и фульгимидов.

Особенный интерес был проявлен к изучению свойств гибридных фотохромных соединений и к фотохромным полимерам, а также фотоиндуцированных процессов флуоресценции, агрегации, анизотропии образования комплексов с ионами и наночастицами металлов.

Результаты фундаментальных исследований механизма фотохимических превращений, взаимосвязи между структурой светочувствительных соединений и их свойствами и фотоиндуцированных явлений, сопровождающих фотохромные превращения, позволили предпринять успешный целенаправленный синтез соединений с характеристиками, которые обеспечили их применение для разработки научных основ создания трехмерной оперативной и архивной оптической памяти, ряда высокочувствительных бессеребряных фотоматериалов, реверсивных хемосенсоров, а также светомодулирующих оптических устройств, автоматически изменяющих свое светопропускание в зависимости от освещенности.

Достигнутые результаты фундаментальных и прикладных исследований были получены благодаря большому научному вкладу квалифицированных коллективов из различных институтов страны, а именно: ЦФ РАН (академик РАН М.В.Алфимов, чл.-кор. С.П. Громов, чл.-кор. РАН А.К.Чибисов, Л.С.Атабекян, А.О.Айт, А.М.Горелик, О.И. Кобелева, Т.М.Валова, О.В. Венидиктова, А.А.Дунаев, Ю.Ф.Пьянков, А.А. Игнатин), ИОХ РАН (проф. М.М.Краюшкин, В.Н.Яровенко, И.В.Платонова, С. И. Луйксаар, Б. В. Личицкий, В. З. Ширинян), ИХФ РАН (проф. О.М.Саркисов, Б.И.Западинский, Н.Л.Зайченко), ИПХФ РАН (академик РАН С.И.Алдошин, В.П. Грачев), ИОФ РАН (В.В.Кийко), ИНЭОС РАН (В.А. Васнев,

А.Л. Русанов, М.Л. Кештов), ИБХФ РАН (О.В. Демина), МЦАИ РАН (Г.И.Сигейкин, И.Ю.Мартынов), РХТУ (В.Ф.Травень, Г.В.Попова), ЮФУ (Л.Д. Попов), Институт органического синтеза УРАН (Г.Н. Липунова), Уральский государственный лесотехнический университет (И.Н.Липунов, И.Г. Первова, С. А. Мелкозеров), ОАО ЦНИТИ «Техномаш» (Е.П.Гребенников, К.С.Левченко), Московская государственная академия тонкой химической технологии (А.А.Ходонов, А.В. Лаптев, Н.Е. Беликов), Гродненский ГУ, Белоруссия (С.А.Маскевич, Г.Т.Василюк), Институт физики полупроводников НАНУ, Украина (К.П.Гриценко), Средиземноморский Университет в Марселе, Франция (Р. Гуглиелметти, А.Сама, В.Локшин), Университет П.Сабатье в Тулузе (Ж.-К.Мишо).

5. Список литературы

1. В.А. Барачевский. Прикладные направления органической фотохимии. Химия высоких энергий, т. 37, № 1, 10-21, 2003 (High Energy Chemistry, v.17, N 1, 6-16, 2003).
2. В.А. Барачевский Реальные фотохромные органические системы: состояние и перспективы. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 41, № 3, 55- 62, 1996 (Sci.Appl.Photo.,v.38,N 3, 315-324, 1997).
3. V.A. Barachevsky. Polyfunctional organic photochromic compounds and their application. Opt.Mem. & Neur. Networks, v. 6, N 2, 111-118, 1997.
4. V.A. Barachevsky.Synthetic and natural organic photochromic systems for optical application. Intern.J.Photoenergy, v.1, 1-5, 1999.
5. V.A.Barachevsky. Photochromic organic compounds with polyfunctional properties. Proc. SPIE, v. 3732, 239-245, 1999.
6. V.A. Barachevsky. Photonics of organic photochromic systems: modern trends. J. Photochem. Photobiol. A, v.196 (2-3), 180-189, 2008
7. В.А. Барачевский, А.О.Айт, М.М.Краюшкин, Б.И.Западинский, Н.Л.Зайченко, В.В.Кийко Е.П.Гребенников, В.П.Грачев. С.М.Алдошин. Фотохромные материалы для инновационных технологий. Материалы ежегодной научно-практической конференции «Инновации РАН 2010», Казань, 1-4 июня 2010 г. Казань, «Слово», с. 97-99.
8. В.А. Барачевский, А.О.Айт, И.И. Баскин, М.В.Алфимов. Разработка базы данных по структурам и свойствам органических фотохромных соединений. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 41, № 4, 44-51, 1996 (Sci.Appl.Photo.,v.38, N 4, 389-397, 1997).
9. А.О. Ait, V.A.Barachevsky, M.V. Alfimov, I.I.Baskin. Spectral data base on photochromic organic compounds. Mol.Cryst.Liq.Cryst., v. 298,[[547]271-[551] 275,1997.
10. V.A. Barachevsky. Polyfunctional photochromism of spirocompounds. Mol. Cryst. Liq. Cryst., v.344, 277-282, 2000.
11. В.А. Барачевский. Свойства мероцианиновых форм фотохромных спиросоединений. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 46, №2, 61-69, 2001.

12. В.А. Барачевский. Фотохимические наносистемы для медицины и биологии. Нанотехника, №2 (10),18-32, 2007.
13. V.A. Barachevsky. Photochromic organic media: state-of-the-art and future. Proc. SPIE, v. 2968, 77-86, 1997.
14. V.A. Barachevsky. Organic frequency-selective recording media. Proc. SPIE, v. 3055, 2-11, 1997.
15. V.A. Barachevsky. Light-sensitive recording media: modern trends. Proc. SPIE, v. 3402, 12-21, 1998.
16. V.A. Barachevsky. Light-sensitive media for the high capacity optical memory. Proc. SPIE, v. 3347, 2-10, 1998.
17. В.А. Барачевский. Светочувствительные органические среды для оптической памяти высокой емкости. Журн. научн. и прикл. фотогр., т. 43, №5, 79-90, 1998 (Sci. Appl. Photo., v. 40, N 5, 473-486, 1998).
18. V.A. Barachevsky. Holographic recording media: modern trends. Opt. Mem. & Neur. Networks, v. 6, 17-30, 1997.
19. V.A. Barachevsky. Holographic recording media: modern trends. Proc. SPIE, v. 3011, 306-318, 1997.
20. V.A. Barachevsky. Holographic recording media: state-of-the-art and modern trends. In: Proc. 50th IS&T Annual Conference, May 18-23, 1997, 626-631.
21. V.A. Barachevsky. Russian advances in holographic recording media. Proc. SPIE, v. 3417, 142-153, 1998.
22. В.А. Барачевский. Органические регистрирующие среды для голографической памяти. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 45, №2, 82-93, 2000 (Sci. Appl. Photo., v. 42, N 2, 195-208, 2000).
23. V.A. Barachevsky. Organic storage media for holographic optical memory: state-of-the-art and future. Proc. SPIE, v. 4149, 205-212, 2000.
24. V.A. Barachevsky. Organic storage media for holographic optical memory: state of the art and future. Opt. Mem. & Neur. Networks, v. 9, N 4, 251-258, 2000.
25. В.А. Барачевский. Фотополимеризующиеся регистрирующие среды для трехмерной голографической оптической памяти. Химия высоких энергий, т. 40, 165-176, 2006 (High Energy Chemistry, v. 40, 131-141, 2006).
26. В.А. Барачевский. Светочувствительные регистрирующие среды: применение в голографии. Всесоюзный семинар «Юрий Николаевич Денисюк - основоположник отечественной голографии». Санкт-Петербург, 22-24 мая 2007 г. Сборник трудов, С.-Петербург. ООО «Центр Трансфера Технологий». 2007, сс. 226-240.
27. В.А. Барачевский. Светочувствительные органические среды для оптической памяти высокой емкости. Ж. научн. прикл. фотогр., т. 43 № 5 79-90, 1998 (Sci. Appl. Photo, v. 40, N 5, 473-486, 1998).
28. V.A. Barachevsky. Photochemical organic recording media for optoelectronic devices. Final Program and Proceeding of IS&T NIP15: International Conference on Digital Printing Technologies, October 17-19, 1999, 754-757.
29. V.A. Barachevsky. Light - sensitive organic media with nonlinear optical properties. Proc. SPIE, vol. 3417, 236-246, 1998.

30. В.А. Барачевский, Ю.П. Строкач, Т.М. Валова, В.Д. Арсенов, А.М. Горелик. Исследование обратного фотохромизма растворов спиропиранов. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 42, № 6, 14- 21, 1997 (Sci.Appl.Photo.v. 39, N 6, 527-536, 1998).
31. Yu. P.Strokach, V.A. Barachevsky, M.V. Alfimov, V.D.Arsenov, A.M.Gorelik. Relative investigation of the properties for monomer and dimer photochromic spirocompounds. Mol.Cryst.Liq.Cryst., v.297, [373]97-[379] 103, 1997.
32. V.D. Arsenov, A.M.Gorelik, Yu.P.Strokach, V.A.Barachevsky, M.V.Alfimov. 1-Alkyl-5'-[(N'-(un)substituted)amido]spiroindolinonaphthoxazines, their preparation, compositions and (co)polymer matrices containing them. EP 1044978, 10.18.2000.
33. V.D. Arsenov, A.M.Gorelik, Yu.P.Strokach, V.A.Barachevsky, M.V.Alfimov. 3,3-Bis(aryl)-5-[(N-(un) substi-tuted)amido]naphthopyrans, their preparation, compositions and (co)polymer matrices containing them. EP 1038870, 27. 09.2000.
34. В.Д. Арсенов, А.М.Горелик, В.А.Барачевский, М.В.Алфимов. 3,3-Бис(арил)-5-[(N-(не замещенные амидо)нафтопираны, способ их получения, композиции и (со)полимерные матрицы, содержащие их. RU 99106203 A, 27.01.2001.
35. В.Д. Арсенов, А.М.Горелик, Ю.П.Строкач, В.А.Барачевский, М.В.Алфимов. 1-N-алкил-5'-((N'-(не)замещен-ные)амидо)спироиндолинонафтоксазины, способ их получения, композиции и (со)полимерные матрицы, содержащие их. RU 99106202 A, 20.01.2001.
36. K.P. Gritsenko, V.F.Machulin, A.O.Ait, A.M.Gorelik, O.I.Kobtleva, T.M.Valova, V.A.Barachevsky. Photochromic films prepared by vacuum co-deposition of polymer and spiropyrans. Optical Memory & Neural Networks, v.19(3), 254-259, 2010.
37. А.А. Игнатин, Ю.П.Строкач, В.А. Барачевский. Исследование люминесцентных свойств нитро-замещенных спиропиранов. Журн.научн. и прикл. фотогр., т. 43, № 3, 33-38, 1998 (Sci.Appl.Photo., v. 40, N 3, 243-250, 1998)..
38. А.А. Игнатин, Ю.П.Строкач, В.А. Барачевский, М.В.Алфимов, А.Сама, Р.Гуглиелметти. Фотоиндуцированная флуоресценция нитрозамещенных бензтиазольных спиропиранов. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 48, №2, 27-31, 2003.
39. V.A. Barachevsky. Photofluorochromic spirocompounds and their application. J. Fluorescence, v. 10, N2, 185-191, 2000.
40. В.А. Барачевский, Р.Е.Карпов, О.В. Венидиктова, Т.М. Валова, Ю.П.Строкач, В.С. Мирошников, Т.А.Чибисова, В.Ф.Травень. Фотохромные свойства индолиновых спиропиранов кумаринового ряда. Изв.АН, сер.хим., № 10, 2350-2356, 2005. (Rus. Chem. Bull., v. 54, N. 10, 2425 – 2431, 2005).
41. В.Ф.Травень В.С.Мирошников, Т.А.Чибисова, В.А.Барачевский, О.В.Венидиктова, Ю.П. Строкач. Синтез и строение спиропиранов кумаринового ряда. Изв.АН, сер.хим., №10, 2342-2349, 2005.(Rus. Chem. Bull. , v. 54, N. 10 , 2417 – 2424, 2005).
42. Н.Л. Зайченко, Л.С. Кольцова, А.И. Шиенок, О.В.Венидиктова, В.А. Барачевский, В.С.Маревцев. Синтез новых спиробензопиранов с двумя длинноцепочечными заместителями. Изв.АН, сер.хим., № 11, 2530-2533, 2005 (Rus. Chem. Bull. , v. 54, N. 11 , 2612 – 2615, 2005).

43. Л.Д. Попов, И.Н. Щербаков, А.О. Буланов, О.И. Кобелева, Т.М. Валова, В.А. Барачевский. Синтез и спектральные исследования фотохромизма 1,3-бензоксазиновых спиропиранов. Изв. АН, сер. хим., № 12, 2340-2344, 2009.
44. В.З. Ширинян, В.А. Барачевский, А.А. Шимкин, М.М. Краюшкин, А.Л. Маилян, Д.В. Цыганов, О.А. Винтер, О.В. Венидиктов. Синтез и спектрально-кинетическое исследование фотоиндуцированных процессов в растворах фотохромных нитрозамещенных индолиновых и бензотиенопирролиновых спиропиранов. Изв. АН, сер. хим., № 4, 811-815, 2010 (Rus. Chem. Bull., v.59, N 4, 828-832, 2010).
45. В.С. Маревцев, Ю.Д. Хамчуков, Н.Л. Зайченко, В.А. Барачевский. Агрегация нитрозамещенных спиропиранов в полимерных пленках. Изв. АН, сер. хим., т. 46, № 5, 906-909, 1997 (Rus. Chem. Bull. v.46, N 5, 906-909, 1997).
46. Р.Е. Карпов, В.А. Барачевский, Ю.П. Строкач, Л.Б. Стебунова, Г.К. Чудинова, О.А. Федорова, С.П. Громов, А.Сама, Р. Гуглиелметти. Исследование фотоиндуцированной агрегации фотохромных спиросоединений. Журн. научн. и приклад. фотографии, т. 48, № 5, 33-43, 2003.
47. V.A.Barachevsky, R.E. Karpov, I.A. Nagovitsin, G.K.Chudinova, Yu.P.Strokach, V.S. Miroshnikov, T.A. Chibisova, V.F. Traven' Aggregation, spectral features and nonlinear properties of polymolecular layers based on spirocumarinpyrans. Superlattices & Microstructures, v. 36, is. 1-3, 73-77, 2004.
48. G. Chudinova, V.Barachevsky. Photochromism of organic compounds in polymolecular layers. Mol.Cryst.Liq.Cryst.,v, 297 [457]181-[464] 188, 1997.
49. Г.К.Чудинова, О.Н.Покровская, Т.М.Валова, В.А. Барачевский, Р. Гуглиелметти, А. Самат. Исследование превращения мероцианиновых форм спиропиранов в полимолекулярных слоях. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 42, № 4, 1997 (Sci. Appl.Photo.,v. 39,N3,329-336, 1998).
50. И.А. Масляницин, В.В. Савранский, Г.К. Чудинова, В.А. Барачевский, В.Д. Шигорин, Н.Т. Шонова. Нелинейно-оптические свойства и структура пленок Ленгмюра-Блоджетт спиранового красителя. Краткие сообщения по физике. ФИАН, №2, 28-33, 1998
51. V.A. Barachevsky, G.K. Chudinova. Photochromic and nonlinear optical properties of Langmuir-Blodgett dye films. Materials Sci. & Engineer., C, v. 8-9, 73-84, 1999.
52. Д.В. Нестеренко, Ю.П. Строкач, Т.М. Валова, В.А. Барачевский, А. Сама, Р. Гуглиелметти. Фотохромные бензтиазольные спиропираны для фотополимеризующихся голографиических регистрирующих сред. Журн. научн. и приклад. фотогр., т.47, №2, 9-13, 2002.
53. О.А. Винтер, О.В.Венидиктова, Л.С.Кольцова, А.И.Шиенок, Н.Л. Зайченко, В.А. Барачевский. Фотохромизм пальмитоиламидо-замещенных индолиновых спиропиранов. Хим. физика, т.28, № 12, 3-9, 2009 (Rus. J.Phys. Chem. B, v.3, N 6, 871-976, 2009).
54. V.A. Barachevsky, S.I.Peredereeva, D.V.Nesterenko, A.V. Lyubimov, V.K.Salahutdinov, N.T. Sokolyuk, A.L.Mikaelyan. Photopolymerizing composition and photopolymerizing recording medium manufactured using the same and used to manufacture 3D optical memory. CN 1878854 (A), 13.12. 2006.

55. V.A. Barachevsky, S.I.Peredereeva, D.V.Nesterenko, A.V. Lyubimov, V.K.Salahutdinov, N.T. Sokolyuk, A.L.Mikaelyan Photopolymerizing composition and photopolymerizing recording medium manufactured using the same and used to manufacture 3D optical memory having ultra-high information storage capacity. US 7,244,548.,17.06.2007.
56. В.А. Барачевский, С.И. Передерева, Д.В. Нестеренко, А.В. Любимов, В.К. Салахутдинов, М.М. Краюшкин, Н.Т. Соколюк, А.Л. Микаэлян. Фотополимеризующие регистрирующие среды для трехмерной оптической памяти сверхбольшой информационной емкости. RU 2325680. 27.05.2008.
57. V.A. Barachevsky, S.I. Peredereeva, D.V. Nesterenko, A.V. Lyubimov, V.K. Salahutdinov, N.T. Sokolyuk, A.L. Mikaelyan Photopolymerizing composition and photopolymerizing recording medium manufactured using the same and used to manufacture 3D optical memory. WO 2005/049764. 02.06.2005.
58. V.A. Barachevsky, M.V. Alfimov, V.B. Nazarov. Photoluminescent organic recording media for information technologies. In: Final Program and Proc. ICPS'-98, v.2,131-134, 1998.
59. V.A. Barachevsky, M.V. Alfimov, V.B. Nazarov. Photoluminescent organic recording media. Proc. SPIE, v.3468, 293-301, 1998.
60. V.A. Barachevsky, M.V.Alfimov, V.B.Nazarov. Light-sensitive organic recording media for luminescent readout of optical information.Opt.Mem.&Neur.Networks,v.7, N 3, 205-212, 1998.
61. В.А. Барачевский, М.В.Алфимов, В.Б.Назаров.Органические регистрирующие среды с фотоиндуцированной люминесценцией. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 44, № 3, 66-74, 1999 (Sci. Appl. Photo., v. 41, N 3, 299-309, 1999)
62. М.Л.Кештов, В.А.Васнев, Г.Д.Маркова, В.А., Барачевский, А.Р. Хохлов Новые сопряженные полифлуорены с бипиридиловыми фрагментами в основной цепи в качестве эффективных флуоресцентных хемосенсоров для ионов переходных металлов, Высокомолекулярные соединения, т.53, №6, 981-987. 2011 (Polym. Sci. Ser. B, v. 53, N 5-6, 345-351, 2011).
63. R.A.Lessard, C. Lafond, I. Petkov,V.A.Barachevsky. Use of photochromic molecules as optical power limiters. Nonlin. Optics, v. 21, 115-124, 1999
64. О.А. Федорова, С.П. Громов, Ю.П. Строкач, Ю.В. Першина, С.А. Сергеев, В.А. Барачевский, А. Самат, Р. Гуглиелметти, М.В.Алфимов. Краунсодержащие спирооксазины и спиропираны. Сообщение 1. Синтез и анион-«накрытые» комплексы фотохромных аза-15-краун-5-эфиров с гибкими спейсерами. Изв. АН, сер. хим., № 10, 1974-1983, 1999 (Rus.Chem.Bull., v. 48, N 10, 1950-1959,1999).
65. Ю.П. Строкач, Т.М. Валова, В.Д. Арсенов, В.А.Барачевский, М.В. Алфимов. Комплексообразование фотохромного нитрозамещенного спиропирана и его димерного аналога. Ж. научн. и прикл. фотогр, т. 45, N 6, 43-50,2000 (Sci. Appl. Photo., v. 42, N 6, 531-539, 2000).
66. A.A. Khodonov, A.Y. Lukin, A.V. Laptev, V.I. Shvets, O.V.Demina, S.P.Gromov, A.I.Vedernikov, Y.P.Strokach, O.V.Venidiktova, T.M.Valova, V.A.Barachevsky,M.V.

Alfimov, Photochromic and cation-binding properties of new crowned spiropyrans. Mol. Cryst. Liq. Cryst., v.431, 515-521, 2005.

67. A.O. Bulanov, L.D.Popov, I.N.Sherbakov, V.A.Rjufy, V.A.Barachevsky, V.V.Lukin. Synthesis, IR, UV/vis-, ¹H NMR and DFT study of chelatophore function-alized 1,3-benzoxa-zinone spiropyran. Spectr. Acta. Part, 71, N 3, 1146-1152, 2008.

68. В.А. Барачевский, О.И. Кобелева, Т.М.Валова, Л.Д.Попов, И.Н. Щербakov, А.О.Буланов, В.А.Коган. Исследование комплексообразования функционализированных 1,3-бензоксазиновых спиропиранов с ионами металлов. Рос. хим. журнал, т. LIII, N 1, 110-114, 2009 (Rus. J.General Chem., v.79, N 12, 2787-2791, 2009).

69. Ф.Н.Маслов, С.Г.Новоженкина, Л.А.Смирнова, И.А. Агарева, А.П.Александров, Н.М. Битюрин, В.А. Барачевский. Радикальная (со)полимеризация метилметакрилата с этилгексилакрилатом и октилметакрилатом в присутствии спиропиранов. Оптические и физические свойства сополимеров. Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. Сер. Хим., № 1, 24-32, 2001.

70. Т.А. Быкова, Б.В.Лебедев, К.В.Кириянов, Н.Н.Смирнова, Л.А.Смирнова, О.В. Каменева, В.А. Барачевский. Термодинамика взаимодействия спиропирана с сополимером метилметакрилата и октилметакрилата в области 0-350 К. Высокомол. соед., сер. А, т.45, №7, 1169 -1176, 2003 (Polym.Sci.. Ser. A, v.45, N 9, 885-892, 2003).

71. Т.Г. Кулагина, А.В.Маркин, Т.А.Быкова, Н.Н.Смирнова, Л.А.Смирнова, В.А. Барачевский. Термодинамические свойства 1',3'-дигидро-1',3',3'-триметил-6-нитроспиро [2Н-1-бензопиран-2,2'-(2Н)-индола] в области от Т --> 0 до 490 К. Ж.физ.хим., т.78, № 2, 199-205, 2004 (Rus. J. Phys. Chem., v.78, N 2, 139-144, 2004).

72. О.В. Каменева, Л.А.Смирнова, К.В.Кириянов, А.Н. Маслов, В.А. Барачевский, А.П. Александров, Н.М. Битюрин. Структура и свойства полимерного связующего на основе сополимеров (мет)акрилатов для фотохромных композиций. Высокомолек. соед., сер. А, т. 45, № 9, 1508-1516, 2003 (Polym. Sci. Ser. A, v.45, N 9, 885-892, 2003).

73. С.М. Долотов, В.С.Мирошников, Т.А.Чибисова, Синь Сю-Лань, О.В.Венидиктова, Т.М.Валова, А.А.Дунаев, Ю.П.Строкач, В.А. Барачевский, В.Ф.Травень. Фотохромизм индолиновых спиропиранов кумаринового ряда в полимерных матрицах. Изв. АН, сер. хим., № 5, 870-875, 2007 (Rus. Chem. Bull., v.56, N 5, 904-909, 2007).

74. Н.Н. Глаголев, А.Б.Соловьева, Б.И.Западинский, А.В. Котова, В.А. Барачевский, П.С.Тимашев, В.Н. Баграташвили. Эффект стабилизации окрашенной формы фотохрома спирооксазинового ряда в матрице поликарбоната. Сверхкритические флюиды: Теория и практика, т. 2. № 1. 78-86. 2007.

75. А.В. Лаптев, Н.Е.Беликов, А.Ю.Лукин, В.А.Барачевский, М.В.Алфимов, О.В.Демина, С.Д.Варфоломеев, В.И.Швец, А.А.Ходонов. Спиропирановые аналоги ретиналя: синтез и изучение их фотохромных свойств. Химия высоких энергий, т.42, № 4 (приложение), 102-105, 2008 (High Energy Chem., v. 42, N 7, 601-603, 2008).

76. А.В. Лаптев, А.Ю. Лукин, Н.Е. Беликов, Р.В. Земцов, В.И. Шве́ц, О.В. Демина, С.Л. Варфоломеев, В.А. Барачевский, А.А. Ходонов. Синтез и изучение фотохромного поведения 3-[6'-нитро-1,3,3-три-метилспиро (индолино-2,2'-[2H]-хромен-5-ил)] пропеновой кислоты и ее этилового эфира. Сборник трудов Международной конференции «Органическая нанофотоника» (ICON-RUSSIA 2009). Симпозиум «Молекулярная фотоника», посвященный памяти академика А.Н.Теренина. Симпозиум «Фундаментальные основы нанофотоники». 21-28 июня 2009г. Санкт-Петербург. ИПХФ РАН, 2009, с 228-237.
77. А.В.Лаптев, А.Ю.Лукин, Н.Е.Беликов, Р.В. Земцов, В.И. Шве́ц, О.В. Демина, С.Л. Варфоломеев, В.А.Барачевский, А.А.Ходонов. Синтез и изучение фотохромного поведения 3-[6'-нитро-1,3,3-три-метилспиро(индолино-2,2'-[2H]-хромен-5-ил)] пропеновой кислоты и ее этилового эфира. Химия высоких энергий, т.44, №2, 1-6, 2010 (High Energy Chem., v. 44, N 3, 211-215, 2010).
78. А.В.Лаптев, А.Ю. Лукин, Н.Е.Беликов, В.И.Швец, О.В.Демина, В.А.Барачевский, А.А.Ходонов. 5-Формил-замещенные индолиновые спиробензопираны и способ их получения. RU 2358977 C1. 20.06.2009.
79. A. Laptev, A. Lukin, N. Belikov, M. Fomin, K. Zvezdin, O. Demina, V. Barachevsky, S. Varfolomeev, V. Shvets, A. Khodonov. Polyenic spirobenzopyrans: Synthesis and study of photochromic properties. J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry, v. 222, Is. 1, 16-24 (2011),
80. В. П. Грачев, Г. М. Бакова, С. В. Курмаз, Л. И. Махонина, Е. А. Юрьева, С. М.Алдошин, В. А. Барачевский. Спектрально-кинетические характеристики формил-замещенного спиропирана в ПММА, модифицированном эластомерами. Высокомолек. соед., т. 53, № 9, 1648-1654, 2011.
81. А.А. Дунаев, А.О.Айт, В.А.Барачевский. Полифункциональная многослойная фотохромная пленка. Нанотехника, №1, 75-81, 2006.
82. А.А. Дунаев, А.О.Айт, В.А.Барачевский, Г.В.Попова. Полифункциональная многослойная фотохромная пленка. Нанотехника, №3, 54-59, 2006.
83. А.В. Котова, И.А.Матвеева, В.Т. Шашкова, Л. А.Певцова, А. О.Станкевич, Б.И. Западинский, В.А.Барачевский, А.О. Айт, А. М. Горелик, А.А. Дунаев, Т. М.Валова, О.В. Вендиктова, О. М. Саркисов, В.Я. Попкова. Фотохромные органические триплексы и способ их получения. RU 2373061 C1. 20.11.2009.
84. Е.А. Карпузова, А.И.Шиенок, Л.С.Кольцова, Н.Л.Зайченко, М.М. Краюшкин, В.А. Барачевский, Г.В.Попова, М.Ф.Бобров. Spirooxazine and fulgimide with functional amino groups for nanostructured photochromic systems. Изв. АН, сер.хим., № 7, 1324-1330, 2010 (Rus. Chem. Bull., v.59, N 7, 1353-1359, 2010).
85. S.A.Antipin, A.N. Petrukhin, F.E.Gostev, V.S.Marevtsev, A.A.Titov, V.A. Barachevsky, Y.P. Strokach, O.M. Sarkisov. Femtosecond transient absorbtion spectroscopy of nonsubstituted photochromic compounds. Chem.Phys.Lett., v. 331,N5/6, 378-386. 2000.
86. А.Н. Петрухин, С.А. Антипин, Ф.Е. Гостев, В.С. Маревцев, А.А.Титов, Д.Г.Товбин, Ю.П.Строкач, В.А. Барачевский, О.М.Саркисов. Методика

регистрации спектров фотоиндуцированного поглощения в фемтосекундном масштабе времени. Фотоизомеризация спиронафтооксазина. Хим. физика, т.19, № 2, 90-97, 2000.

87. С.А. Антипин, А.Н. Петрухин, Ф.Е.Гостев, В.С.Маревцев, А.А.Титов, Ю.П. Строкач, В.А.Барачевский, О.М.Саркисов. Фемтосекундная абсорбционная спектроскопия незамещенных фотохромных спиросоединений. Хим. физика, № 4, 3-10, 2000

88. К. Фролов, Ф. Е. Гостев, И. В. Шелаев, А. И. Шиенок, Н. Л. Зайченко, Л. С. Кольцова, В.А. Барачевский, О. М. Саркисов. Фемтосекундная динамика и когерентные эффекты в фотореакции бифункционального соединения.Хим. физика, т.26, № 1. с.10 -21, 2007.

89. И.Ю. Сычев, Ю.Д.Хамчуков, В.С.Маревцев, Н.Л. Зайченко, Г.Л.Чудинова, Ю.П. Строкач, Л.В.Стебунова, В.А. Барачевский Фотохромизм пленок на основе замещенного спирофенантrenoксазина., Ж. научн. и прикл. фотогр. т. 45, N2, 61-66, 2000 (Sci. Appl. Photo, v.42, N2, 167-174, 2000).

90. Л.В. Стебунова, И.Ф. Наговицын, Г.К.Чудинова, В.А. Барачевский, О.А.Федорова, С.П. Громов. Исследование свойств полимолекулярных слоев краун-содержащих индолиновых спиронафтооксазинов. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 48, №2, 46-49, 2003.

91. Ю.П. Строкач, Т.М. Валова, В.А.Барачевский, М.В. Алфимов, В.Локшин, А.Самат, Р.Гуглиелметти. Влияние комплексообразования на свойства 6'-замещенных фотохромных спирооксазинов. Ж. научн. и прикл. фотогр, т. 44, №6, 1-10, 1999 (Sci. Appl. Photo., v. 41, N 6, 491-502, 2000).

92. O.A. Fedorova, S.P. Gromov, Y.V. Pershina, S.A. Sergeev, Y.P. Strokach, V.A.Barachevsky, M.V. Alfimov, G. Pepe, A. Samat, R. Guglielmetti. Novel azacrownether-containing spiro [indoline- 2,3'-naphtho-xazine]: de-sign, synthesis, and cation-dependent photochromism. J.Chem. Soc. Perkin Trans. 2, 2000, 563-570.

93. Ю. П. Строкач, О. А.Федорова, С. П.Громов, А. В.Кошкин, Т. М. Валова, В. А. Барачевский, М. В. Алфимов, В. А Локшин., А.Самат, Р. Гуглиелметти. Краунсодержащие спиронафтоксазины и спиропираны. Сообщение 2. Влияние катионов металлов на фотохромные свойства спиронафтоксазинов, сопряженных с аза-15(18)-краун-5(6) эфирами. Изв. АН, сер. хим., 2002, 56-64, (Russ. Chem. Bull., v. 51, 58-66, 2002).

94. O.A. Fedorova, S.P.Gromov, Yu.V. Pershina, S.A.Sergeev, Yu.P. Strokach, V.A.Barachevsky, M.V.Alfimov, G. Pepe, A.Samat, R.Guglielmetti. Novel azacrown ether-containing spiro [indoline-2,3'-naphthoxazines]: design, synthesis and cation-dependent photochromism J.Chem. Soc., Perkin Trans., 2, № 3, 563-570, 2002.

95. Ю.П. Строкач,Т.М. Валова,В.А. Барачевский. В.С. Маревцев, А.И. Шиенок. Исследование свойств бихромофорного фотохромного спирооксазина и его комплексов с катионами металлов.Изв. АН, сер. хим., № 6 , 1434-1437, 2005.(Rus. Chem. Bull. , v. 54, N. 6 , 1477 – 1480, 2005).

96. Л.Д. Попов, И.Н.Щербаков, В.А.Коган, О.И.Кобелева, Т.М.Валова, В.А. Барачевский, А.И.Шиенок, Л.С.Кольцова, Н.Л.Зайченко. Синтез, фотохромизм и

комплексообразующая способность N-(2-то-зиламинобензилиден) производного аминспиронафтоксаина. Изв. АН, сер. хим., № 5, 950 – 953, 2009 (Rus. Chem. Bull., v.58, N 5, 974-977, 2009).

97. S.P.Gromov, S.S. Sergeev, O.A. Fedorova, Yu.P. Stroksch, S.A. Dmitrieva, V.A. Barachevsky, M.V. Alfimov. 1-N-[N'-(uu)substituted]-amidoalkyl]spiroindolino-naphthoxazines, their preparation, compositions and (co)polymer matrices. EP 1044979, 10.18.2000.

98. С.П. Громов, С.А.Сергеев, О.Ф.Федорова, Ю.П.Строкач, С.Н.Дмитриева, В.А. Барачевский, М.В. Алфимов. 1-[(N (не)замещенные амиидоалкил] спироиндолинонафтоксаины, способ их получения, композиции и (со)полимерные матрицы, содержащие их. RU 99106201 A, 20.01.2001.

99. V.A. Barachevsky, W.Jenninger, B.I.Zapadinckiy, A.O.Ait, A.A.Dunaev, A.V.Kotova, I.A.Matveeva, L.A.Pevtsova, V.T.Shashkova, N.S.Strokach, T.M.Valova, O.V.Venidiktova. Photochromes material und Verfahren zu seiner Herstellung. DE 102006054236.3. 21.05. 2008.

100. V.A. Barachevsky, W.Jenninger, B.I.Zapadinsky, A.O.Ait, A.A.Dynaev, A.V.Kotova, I.A. Matveeva, L.A.Pevzova, V.T.Shashkova, Y.P.Strokach, O.V.Venidictova. Photochromic material and process for its preparation. US 2008217590 A1. 11.09. 2008.

101. V.A. Barachevsky, W.Jenninger, B.I.Zapadinsky, A.O.Ait, A.A.Dynaev, A.V.Kotova, I.A. Matveeva, L.A.Pevzova, V.T.Shashkova, Y.P.Strokach, O.V.Venidictova. Photochromic material and process for its preparation thereof. WO 2008058657 (A1). 22.05. 2008.

102. V.A. Barachevsky, B.I.Zapadinsky, A.O.Ait, A.M.Gorelik, A.A.Dynaev, A.V.Kotova, I.A. Matveeva, L.A.Ptvzova, V.T.Shashkova, Y.P.Strokach, T.M.Valova, O.V.Venididictova, W. Jenninger, B. Koehler. Photochromic material comprises a photochromic layer formed by three-dimensional radical polymerization between two polycarbonate layers. DE102007002553 A1. 24.07. 2008.

103. Y.P.Strokach, A.A.Ignatin, V.A.Barachevsky, M.V. Alfimov, S.Anguille, P.Brun, R. Guglielmetti. Photochromic properties of ferrocene substituted chromenes. Mol.Cryst.Liq.Cryst., v.344, 119-124, 2000.

104. S. Anguille, P.Brun, R.Guglielmetti, V.Barachevsky, Yu.P.Strokach, A.A.Ignatin, M.V. Alfimov. Synthesis and photochromic properties of ferrocenyl substituted naphtho- and phenanthrenopyrans. J.Chem.Soc., Perkin Trans.II, 2001, 639-644.

105. В.П. Грачев, Г.М.Бакова, Л.И.Махонина, Е.А.Юрьева, С.М.Алдошин, А.М.Горелик, В.А.Барачевский. Синтез и исследование фотохромных свойств сополимеров на основе функционализированных хроменов. Изв. АН, сер. хим., №7, 1446-1452, 2011.

106. Л. Д. Попов, И. Н. Щербаков, В. А. Коган, В. З. Ширинян, М. М. Краюшкин, О. И. Кобелева, Т. М. Валова, В. А. Барачевский. Спектрально-кинетическое исследование фотохромных превращений металлокомплексов спиронафтопирана. Хим. физика, т. 30, № 6, 18–22, 2011.

107. V.A. Barachevsky. Photochromic quinones. In: «Organic Photochromic and Thermochromic Compounds». Ed. J.C. Crano and R. J. Guglielmetti. vol.1. Main Photochromic Families, Plenum Press, New York, v.1, 1267-311, 1999.
108. А.Е. Щекотихин, Е.Л.Шевцова, Ю.Н.Лузиков, В.А. Барачевский, В.Ф.Травень. Синтез и фотохимические свойства феноксипроизводных антра [2,3-b] фуран-5-10-диона. Журнал орг. хим., т.44, 864-871, 2008 (Rus.J.Org.Chem., v.44, N 6, 855-862, 2008).
109. Б.И. Бузыкин, Г.Н., Липунова, И.Г. Первова, В.М. Островская, И.Н. Липунов, Т.И. Маслакова, Н.Ю. Стожко, В.А. Барачевский, Г.И. Сигейкин. Прогресс в химии формазанов. Изд. «Новый Мир», г. Москва, 2009.
110. В.А.Барачевский. Зависимость спектрально-кинетических характеристик фотохромных арилформазанов от их структуры. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 46, №2, 54-60, 2001.
111. И.Н. Липунов, И.Г.Первова, Г.Н.Липунова, Ю.Ф.Горбатенко, Г.И. Сигейкин, В.А.Барачевский. Формазанаты металлов как компоненты оптических сред, красители, катализаторы. Рос. хим. журнал, т. LIII(1), 152-163, 2009.
112. И.Г. Первова, В.А. Барачевский, С.А.Мелкозеров, Г.Н. Липунова, Г.И. Сигейкин, И.Н. Липунов. Спектрально-кинетическое исследование фотохимических свойств арил-3-алкил-5-(бензотиазол-2-ил)формазанов. Химия высоких энергий, т. 44, 22-26, 2010 (High Energy Chemistry, v.44, N1, 20-24, 2010).
113. Л.С. Атабекян, В.А.Барачевский, С.А. Мелкозеров, Г.Н. Липунова, И.Г.Первова, Г.И.Сигейкин. Изучение фотопревращения 1-арил-3-метил-5-(бензотиазол-2-ил) формазана методом лазерного фотолиза. Химия высоких энергий, т. 45, № 1. 55-59, 2011. (High Energy Chemistry, v. 45, N 1, 52-56, 2011).
114. Г.К.Чудинова, О.В.Венедиктова, В.А.Барачевский, А.А.Флегонтов, Г.И.Сигейкин, Г.Н. Липунова. Исследование флуоресцентных свойств комплексов формазанов с ионами редкоземельных элементов в растворах и монослоях. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 46, №2, 50-53, 2001.
115. Ю.П. Строкач, Т.М. Валова, В.А. Барачевский, Г.И. Сигейкин. Спектральное исследование образования комплексов между молекулами формазанов и ионами металлов в ацетонитриле. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 46, №2, 44-49, 2001.
116. Т.И. Маслакова, Г.Н. Липунова, Г.И. Сигейкин, Ю.П. Строкач, Т.М. Валова, В.А. Барачевский. Спектральное исследование комплексообразования 1-арил-3-(н-гептил)-5-бенз - тиазолилформазанов с ионами металлов. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 46, №2, 39-43, 2001.
117. А. Оливейра-Кампос, Л.В. Стебунова, Г.К.Чудинова, В.А. Барачевский, В.Г. Авакян, И.А. Масляницин, В.Д. Шигорин. Фотохромные и нелинейно-оптические свойства систем на основе тиенотиазольных азокрасителей. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 47, №2, 4-8, 2002.
118. В.А.Барачевский, А.А.Флегонтов, Г.И. Сигейкин. Органические регистрирующие среды для новых информационных фототехнологий. Рос.хим. журнал, т. L, №5, 15-25, 2006.

119. М.Л. Кештов, О.В.Венидиктова, В.А. Барачевский, В.А.Васнев, П.В.Петровский, А.Р.Хохлов Синтез и фотофизические свойства фотохромных фенилзамещенных полифенилов с азобензольными фрагментами в основной цепи. Высокомолекул. соед., сер. А. т.49, 288-292, 2007 (Polym. Sci., Ser.A, v.49, 176-180, 2007).
120. V.Z. Shirinian, M.M. Krayuskin, V.A. Barachevsky, L.I. Beleb'kii, A.A. Shimkin, Y.P. Strokach. Synthesis of photochromic 2,3-bis(2,5-dimethyl-3-thienyl)-3-cyanoacrylates by the Bemann rearrangement of a cyclobutenedione derivative. Mendelev Comm., N 5, 202-204, 2004.
121. Л. И. Беленький, А. В. Колотаев, В. З. Ширинян, М. М. Краюшкин, Ю. П. Строкач, Т. М. Валова, З. О. Голотюк, В.А. Барачевский. Синтез 4-гетарил-5,6-(2,5-ди-метил-3-тиенил)-2-фенил-4Н-тиазинов и исследование их фотохромизма. Хим. гетероцикл. соед., №1, 100-106, 2005. (Chem. Heterocycl. Comp., v.41, N 1, 86-92, 2005).
122. М. М. Краюшкин, М.А.Калик, Д.В.Кожин, А.Ю.Мартынкин, Ю. П. Строкач, В.А. Барачевский. Фотохромные дигетарилэтены. 21. Синтез и фотохимические свойства 1,2-бис{2-этил-5-(бензоти-азол-2-ил)ти-ено[2,3-б]тиофен-3-ил}гексафторциклопентена. Хим. гетероцикл. соед., №3, 360-364, 2005 (Chem. Heterocycl. Comp., v.41, N 3, 312-316, 2005).
123. Ю.П.Строкач, Т.М.Валова, З.О.Голотюк, В.А. Барачевский. В.Н.Яровенко, М.А.Калик, М.М. Краюшкин. Сравнительное спектрально-кинетическое исследование растворов фотохромных производных перфторциклопентена из класса диарилэтенов. Оптика и спектроскопия, т. 99, №5, 779 -784, 2005 (Opt. Spectroscopy, v. 99, N 5, 714-718, 2005).
124. Ю.П.Строкач, Т.М.Валова, З.О.Голотюк, В.А. Барачевский, О.Ю.Кузнецова, В.Н.Яровенко, С.Л.Семенов, И.В.Заварзин, В.З.Ширинян, М.М. Краюшкин. Сравнительное спектрально-кинетическое исследование фотохромных дигетарилэтенов на основе малеинового ангидрида и малеинимида. Оптика и спектроскопия, т.99, №4, 595-600, 2005. (Opt. Spectroscopy, v.99, N 4, 573-578, 2005)
125. V.A. Barachevsky, Y.P. Strokach, M.M. Krayushkin. Photochromism of thienyl-containing dihetarylethenes with five-membered cyclic bridges. Mol. Cryst. Liq. Cryst., v.430, 181-186, 2005.
126. V.A. Barachevsky, M.M. Krayushkin. Thermal irreversible organic photochromes for imaging systems. Final program and Proceeding. 21st International Conference on Digital 92. Printing Technology. September 18-23, 2005. Baltimore. Maryland, USA, 2005, 24-27.
127. В. Н. Яровенко, А.А.Еськов, С.Л.Семенов, И.В.Заварзин, В.И. Каденцев, М.А.Калик, М.М.Краюшкин, Ю.П.Строкач, Т.М.Валова, З.О.Голотюк, В.А. Барачевский. Спектральное и кинетическое исследование фотохромных 1,2-дигетарилэтенов с перфторциклопентеновым мостиком. Изв.АН, сер.хим., № 12, 2697-2700, 2005 (Rus. Chem. Bull., v. 54, N. 12, 2790-2793, 2005).
128. Ю.П.Строкач, О.И.Кобелева, Т.М.Валова, В.А. Барачевский., Д.В.Пашенко, Б.В.Личицкий, М.М.Краюшкин. Спектральное исследование свойств фотохромных

полизамещенных лактонов. Оптика и спектроскопия, т.103, №6, 975-982, 2007 (Opt. Spectroscopy, v.103, N 6, 936-942, 2007).

129. M.M.Krayushkin, V.A. Barachevsky, M.Irie. Synthesis of thienyl -containing photochromes (ditiénylenes, fulgides, fulgimides and spirocompounds). Heteroatom Chem., v.18, 557-565, 2007

130. V.F. Traven, A.Y.Bochkov, M.M.Krayushkin, V.N.Yarovenko, B.V.Nabatov, S.M.Dolotov, V.A. Barachevsky, I.P.Beletskaya. Coumarinyl(thienyl) thiazoles: novel photochromes with modulated fluorescence. Organic Lett., v.10, 1319-1322, 2008.

131. V.F.Traven, A.Yu.Bochkov, M.M.Krayushkin, V.N.Yarovenko, V.A. Barachevsky, I.P.Beletskaya. Novel photochromic 3-(3-coumarinyl)-4-(3-thienyl)maleic acid cyclic derivatives. Mendeleev Commun., v. 20, 22-24, 2010.

132. М.М.Краюшкин, Б.В.Личицкий, А.А.Дудинов, Щ.Ю.Кузнецова, О.И.Кобелева, Т.М.Валова, В.А.Барачевский. Синтез и фотохромные свойства тиосемикарбазидных и тиокарбазатных производных дитиенилперфторциклопентена, Изв.АН, сер.хим., №5, 1023-1025, 2010 (Rus. Chem. Bull., v. 59, N 5, 1047-1050, 2010).

133. V.V.Kijko, V.N.Burjak, M.M. Krayushkin, V.A. Barachevsky, Photochromic dihetarylene compounds and process for preparing there of. CZ 20050339. 17.01.2007.

134. V.A.Barachevsky, M.M. Krayushkin. Photochromic organic recording media for 3D optical memory. 2005 Beijing International Conference on Imaging: Technology & Applications for the 21st Century. Beijing, China, May 23-26, 2005, 30-31.

135. В.А. Барачевский, М.М. Краюшкин. Органические светочувствительные регистрирующие среды для трехмерной оптической памяти. Труды Международной научно-практической конференции «Нанотехнологии-производству 2005», ООО «Бизнесгарант», М., 2006, с. 250-261.

136. В.А.Барачевский, М.М. Краюшкин. Органические светочувствительные регистрирующие среды для трехмерной оптической памяти. Нанотехника, №1, 81-86, 2006.

137. V.A.Barachevsky. Light-sensitive organic recording media for 3D optical memory. Final Program and Proceedings. ICIS'06/ International Congress of Imaging Science. May 7-11, 2006, Rochester, New York, USA. 2006. p.435-438.

138. V.A.Barachevsky, Yu.P.Strokach, M.V.Valova, Yu.A.Puankov, M.M. Krayushkin. New bistable organic photochromic compounds for bitwise working optical memory. Opt. Mem. & Neur. Networks, v.16, 51-66, 2007.

139. V.A. Barachevsky, Yu. P. Strokach, Yu. A. Puankov, E. P. Grebennikov, V. V. Kiyko, M. M. Krayushkin. Organic recording media for 3D bitwise optical memory on optical disks. Proc. SPIE, v 6796, 2007.

140. В.А. Барачевский, М.М. Краюшкин. Фотохромные органические соединения для оптической памяти. Изв. АН, сер хим., №4, 853-861, 2008 (Rus. Chem. Bull., v.57, N 4, 867-875, 2008).

141. А.Ю.Бочков, В.Н. Яровенко, В.А. Барачевский, Б.В. Набатов, М.М. Краюшкин, С.М. Долотов, В.Ф. Травень, И.П. Белецкая. Кумарил(тиенил)тиазолы—

новые флуоресцентные молекулярные фотопереклюатели. Изв. АН, сер. хим., № 1, 162-169, 2009 (Rus. Chem. Bull., v. 58, N 1, 162-169, 2009).

142. V.A.Barachevsky, O.I.Kobeleva, T.M.Valova, A.O.Ait, A.A.Dunaev, A.M.Gorelik, M.M. Krayushkin, V.V.Kyiko, E.P.Grebennikov. Light-sensitive organic systems and multilayer polymer structures for optical recording media. Proc.SPIE, v.7722, 77225, 2010.

143. V.A. Barachevsky, O.I.Kobeleva, T.M. Valova, A.O. Ait, A.A. Dunaev, A.M.Gorelik, M.M. Krayushkin, K.S. Levchenko, V.N. Yarovenko, V.V. Kiyko, E.P.Grebennikov. Photochromic and irreversible photofluorescent organic materials for 3D bitwise optical memory. Opt. Mem. & Neur. Networks (Information Optics), v.19, №2, 187-195, 2010.

144. V.A. Barachevsky, V.V. Kiyko, M.M. Krayushkin, S.I. Lyiksaar, E.N. Oftiserov, Y.A. Puankov, F.M. Stoyanovich, Y.P. Strokach, T.M. Valova. Recording medium for three dimension operating memory. CY 2527. 05.12. 2006.

145. A.A.Dunaev, M.V.Alfimov, V.A. Barachevsky, V.A.Vasnev, I.V.Zavarzin, S.N.Ivanov, M.L.Keshtov, A.I. Kovalev, M.M. Krayushkin, Yu. A. Pyunkov, A.L. Rusanov, Yu.P. Strokach, V.N. Yarovenko. Photochromic monomers, photochromic polymers based on the same, photochromic recording media comprising the photochromic polymers, and 3D read/write optical memory comprising the recording media. CN 101027308 (A). 08.29. 2007.

146. A.A.Dunaev, M.V.Alfimov, V.A. Barachevsky, V.A.Vasnev, I.V.Zavarzin, S.N.Ivanov, M.L.Keshtov, A.I. Kovalev, M.M. Krayushkin, Yu. A. Pyunkov, A.L. Rusanov, Yu.P. Strokach, V.N. Yarovenko. Photochromic monomers, photochromic polymers based on the same, photochromic recording media comprising the photochromic polymers, and 3D read/write optical memory comprising the recording media. US 7,452,950, 18.11.2008

147. V.A. Barachevsky, V.V.Kiyko, M.M.Krayushkin, S.I.Lyiksaar, E.N.Oftiserov, Y.A.Puankov, F.M.Stoyanovich, Y.P.Strokach, T.M.Valova Recording medium for three dimension operating memory. WO 2006037279. 04.13. 2006.

148. V.V. Kijko, V.N.Burjak, V.A. Barachevsky, M.M. Krayushkin. Photochromic recording medium. CZ 20050412. 31.01.2007.

149. V.V. Kijko, V.N.Burjak, M.M. Krayushkin, V.A. Barachevsky, A. B.Egorov Optical storage medium and optical device for data recording, deletion and reading. CZ 20050413. 01.31. 2007.

150. V.V. Kijko, V.N.Burjak, M.M. Krayushkin, V.A.Barachevsky, A. B.Egorov Optical storage medium and optical device for data recording, deletion and reading. EP 1924991(A1), 05.28. 2008.

151. V.V. Kijko, V.N.Burjak, M.M. Krayushkin, V.A.Barachevsky, A. B.Egorov. Optical storage medium and optical device for data recording, deletion and reading. CN 101366086. 02.11. 2009.

152. Г.Д. Маркова, В.А. Васнев, М.Л. Кештов, М.М.Крайюшкин, С.Н. Иванов, Т.М. Вало́ва, А.А. Дунаев, Ю.П.Строкач, В.А. Барачевский, Л.Г.Воронцова,

- З.А.Старикова. Новые фотохромные полимеры. Высокомолекул. соед., сер. В, т.48, № 1, 18-22, 2006 (Polym. Sci., ser. B, v. 48, N 1–2, 18-22, 2006).
153. M.M. Krayushkin, N. G. Shimkina, V.A. Barachevsky, A. A. Dunaev, B. A. Izmailov, V. A. Vasnev, M. L. Keshtov. Photochromic silicone polymers based on 1,2-dihetarylethenes. ARKIVOC: Is.IV, 112 – 119, 2008.
154. М.Л.Кештов, В.А.Барачевский, А.А. Дунаев, В.А. Васнев, Г.М.Маркова,Б.А. Измаилов,М.М.Краюшкин. Новые сопряженные полиариленэтилены с фотохромными звеньями в основной цепи. Высокомол. соед., сер. А, т.51, № 9, 1-10, 2009 (Polym. Sci. Ser. B, v. 51, N 9-10, 335-343, 2009).
155. А.И.Ковалев, А.Л.Русанов, М.М.Краюшкин,В.Н.Яровенко,А.А.Дунаев, Ю.А.Пьянков, В.А.Барачевский. Фотохромные олигоазометины с ди(бензотиофенил)циклопентеновыми фрагментами. Высокомол.соед., сер.А, т.52, 321-324, 2010 (Polym.Sci.,Ser.B,v.52,73-76, 2010).
156. M.V. Alfimov, V.A. Barachevsky, V.A. Vasnev, A.A. Dunaev, I.V. Zavarzin, S.N.Ivanov, M.L.Keshtov, M.M. Krayushkin, Yu. A.Pyunkov, S.L.Semenov, Yu.P. Strokach, V.N. Yarovenko. Photocontrolled photochromic electroluminescent and electroconductive polymers for photonics. US 7,297,751. 20.11.2007.
157. М.В. Алфимов, В.А.Барачевский, В.А.Васнев, А.А.Дунаев, И.В.Заварзин, С.Н.Иванов, М.Л. Кештов, М.М.Краюшкин, Ю.А.Пьянков, С.Л.Семенов, Ю.П.Строкач. Фотоуправляемые фотохромные электролюминесцентные и электропроводящие полимеры для фотоники. RU 2345998. 02.10.2009.
158. М.В.Алфимов, В.А.Барачевский, В.А.Васнев, А.А.Дунаев, И.В.Заварзин, С.Н.Иванов, М.Л. Кештов, А.И.Ковалев, М.М.Краюшкин, Ю.А.Пьянков, А.Л.Русанов, Ю.П.Строкач, В.Н. Яровенко. Фотохромные полимеры для трехмерной оперативной оптической памяти. RU 2345997. 02.10.2009.
159. M.V. Alfimov, V.A.Barachevsky, V.A. Vasnev, A.A. Dunaev, I.V. Zavarzin, S.N. Ivanov, M.L.Keshtov, M.M. Krayushkin, Yu. A.Pyunkov, S.L.Semenov, Yu.P. Strokach, V.N. Yarovenko. Photocontrolled photochromic electroluminescent and electroconductive polymers for photonics KR 20060050357. 19. 05.2006.
160. Г.Е. Адамов, В.А.Барачевский,Е.П. Гребенников, А.Г. Девятков, М.М. Краюшкин. Создание наноструктурированных материалов молекулярной фотоники и слоистых структур на их основе для оптической нейросетевой обработки информации. Российские нанотехнологии, т.3, 10-12, 2008.
161. V.A. Barachevsky,Yu.P.Strokach, Yu.A.Puankov, O.I.Kobeleva, T.M.Valova,K.S. Levchenko,V.N.Yarovenko, M.M.Krayushkin. Light-sensitive heterocyclic compounds for information nanotechnologies. ARKIVOC , Is. IX, 70-95, 2009.
162. О.И.Кобелева, Т.М.Валова, В.А.Барачевский, М.М.Краюшкин, Б.В.Личицкий, А.А. Дудинов, Ю.Кузнецова,Г.Е.Адамов, Е.П.Гребенников. Спектрально-кинетическое проявление взаимодействия фотохромных диарилэтенов с наночастицами серебра. Оптика и спектроскопия, т.100, N 1, 106-110, 2010 (Optic. Spectroscopy, 101-105, 2010). v.109, N 1,

163. I.V. Platonova, V.A. Barachevsky, V.N. Yarovenko, L.V. Christoforova, M.M. Krayushkin/ Study of functional properties of thermally irreversible photochromic diarylethenes in various aggregates states. *Phys. Stat. Solidi*, C 8, No.9, 2846–2849, 2011.
164. A. Ayt, V. Barachevsky, O. Kobeleva, T. Valova, A. Gorelik, M. Krayushkin, M. Komlenok, V. Kononenko. Masking photochromic films for nanolithography technology. *Phys. Stat. Solidi*, C 8, No.9, 2866–2869, 2011.
165. М. М. Краюшкин, В. Н. Яровенко, Л. В. Христофорова, А. С. Шашков, Е. П. Гребенников, А. Г. Девятков, Г. Е. Адамов, К. С. Левченко, П. С. Шмелин, В. А. Барачевский, Т. М. Валова, О. И. Кобелева. Синтез и исследование в составе многослойных полимерных структур фотохромных соединений в ряду бензотиенильных производных циклопентена. *Изв. АН, сер. хим.*, № 12, 2487 - 2494, 2011.
166. V. A. Barachevsky, M. M. Krayushkin, V. V. Kyiko, E. P. Grebennikov. Light-sensitive organic recording media for 3D optical memory. *Phys. Stat. Solidi*, C 8, No.9, 2841–2845, 2011.
167. М. М. Краюшкин, С. В. Шорунов, С. И. Луйксаар, Ю. П. Строкач, Т. М. Валова, З. О. Голотюк, В. А. Барачевский. Синтез и спектрально-кинетическое исследование растворов фотохромных тиенилфульгмидов. *Хим. гетероцикл. соед.*, № 8, 1170-1175, 2006 (*Chem. Heterocycl. Compounds.*, v. 42, N8, 1012-1017, 2006).
168. И. Г. Ильина, В. В. Мельников, С. И. Луйксаар, М. М. Краюшкин, Ю. А. Пьянков, В. А. Барачевский, И. В. Федянин. Синтез и спектрально-кинетическое исследование автокомплексов динитрохинолинового ряда на основе фотохромных фульгмидов. *Изв. АН, сер. хим.*, № 7, 1417-1423, 2008 (*Rus. Chem. Bull.*, v.57, N 7, 1444-1450, 2008).
169. Л. Д. Попов, И. Н. Щербаков., В. А. Коган, С. И. Луйксаар, М. М. Краюшкин, О. В. Венидиктова, А. М. Горелик. Фотохромизм основания Шиффа на основе N-аминофульгмида. *Изв. АН, сер. хим.*, № 12, 2345-2347, 2009 (*Rus. Chem. Bull.*, v.58, №12, , 2423-2425, 2010).
170. Е. Н. Родловская, Б. А. Измайлов, В. А. Васнев, Л. И. Комарова, С. И. Луйксаар, М. М. Краюшкин, В. А. Барачевский, О. И. Кобелева, Т. М. Валова. Фотохромные фульгмидсодержащие силиконы, иммобилизованные на поверхности полиарилата. *Высокомолекул. соед., серия Б*, т. 53, № 6, 988–994, 2011.
171. Л. К. Карабаева, И. А. Платонова, И. В. Заварзин, С. И. Луйксаар, В. Н. Яровенко, Б. Набатов, М. М. Краюшкин, В. А. Барачевский. Синтез, фотохромные и флуоресцентные свойства гибридных соединений фульгмидов и бензтиазолилтиениотиофена. *Хим. гетероцикл. соед.*, № 2, 287-295, 2011.
172. С. И. Луйксаар, И. В. Платонова, М. М. Краюшкин, В. А. Барачевский, С. П. Молчанов. Синтез и спектрально-кинетическое исследование свойств гибридных фотохромов, содержащих фульгмидный и салицилиденанилиновый фрагменты. *Изв. АН, сер. хим.*, № 5, 841-846, 2011.
173. O.I. Kobeleva, T.M. Valova, A.O. Ait, V.A. Barachevsky, K.P. Grytsenko, V.F. Machulin, M.M. Krayushkin. Photochromic properties of composite films of thermally irreversible diarylethenes and fulgimides in polytetrafluoroethylene matrix. *Intern. Sci. J.*

Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics, v.14, №4, 441- 446 (2011)

174. Чудинова, И.А. Масляницын, В.Д. Шигорин, В.Е.Квасников, О.Н. Покровская, В.А. Барачевский, А.И.Толмачев, Ю.Л. Слонимский, Р.Гуглиелметти, А.Самат. Нелинейно-оптические свойства пленок Ленгмюра-Блоджетт на основе органических красителей. Ж. научн. и прикл. фотогр., т. 43, № 3, 1998 (Sci. Appl. Photo., v. 40, N 3, 231-242, 1998).

175. G. Chudinova, O. Pokrovskaya, V. Barachevsky. The study of correlation between the dye molecule behavior in monolayers and their spectral properties in Langmuir-Blodgett films. Thin Solid Films, v. 293, 285-290, 1997.

176. Ю. П. Строкач, Т. М. Валова, В.А. Барачевский, М.В.Алфимов, С. П. Громов, А. И. Ведерников, О. В. Демина, А.Ю.Лукин, С. В. Шевяков, В. И. Швеца, А. А. Ходонов, Й. Люгтенбург. Влияние катионов металлов на спектральные характеристики винилогов краун-эфиров с различными терминальными полярными группами. Изв.РАН, сер. хим., N 12, 2514-2517, 2003. (Rus. Chem. Bull., v. 52, N 12, 2656-2660, 2003).

177. М.Л.Кештов, О.В.Венидиктова, В.А. Барачевский, Г.Д.Маркова, В.А.Васнев, А.Р. Хохлов. Новые фенилзамещенные полифенилены с бипиридиловыми фрагментами в основной цепи и их комплексы с ионами металлов. Высокомолекуляр. соедин., сер. С, т.51, №7, 1269-1277, 2009 (Polym. Sci., Ser. C, v.51, N 1, 17-25, 2009).

178. Л.Д. Попов, И.Н.Щербаков, В.А.Коган, О.И.Кобелева, Т.М.Валова, В.А. Барачевский, А.И.Шиенок, Л.С.Кольцова, Н.Л.Зайченко. Синтез, фотохромизм и комплексообразующая способность N-(2-то-зиламинобензилиден) производного аминоспиронафтоксаина. Изв. АН, сер. хим., № 5, 950 – 953, 2009 (Rus. Chem. Bull. v.58, N 5, 974-977, 2009).

179. Р.Е.Карпов, В.А. Барачевский, Фотоника наноструктурированных систем на основе спиросоединений. Химия высоких энергий, т.41, 226 -238, 2007 (High Energy Chem., v.41, N 3, 188-199, 2007).

180. A.Yu. Lukin, S.B. Shevyakov, A.V. Laptev, O.I.Davydova, V.I. Shvets, O.V. Demina, Yu.P. Strokach, V.A. Barachevsky, M.V. Alfimov, S.P. Gromov, A.I. Vedernikov, J. Lugtenburg, A.A. Khodonov. Application of Horner-Emmons olefination to the crown-ether derivatives. J. Inorg. Phen., v.49, N1-2, 153-161, 2004.

181. O.V.Demina, S.D.Varfolomeev, A.Y.Lukin, A.V.Laptev, V.I.Shvets, A.A.Khodonov, L.V.Khitrina, S.P.Gromov, A.I.Vedernikov, V.A.Barachevsky, Y.P.Strokach, M.V.Alfimov, J. Lugtenburg. Investigation of the spectral properties of the crowned retinals and bacteriorhodopsin analogs. Mol. Cryst. Liq. Cryst., v. 431, 509-514, 2005.

182. N.Belikov, A. Lukin, A.Laptev, V.Shvets, V.A.Barachevsky, Y.Strokach, T.Valova, M.Krayushkin, O.Demina, S.Varfolomeev, A.Khodonov. Photochromic behavior of retinal analogs. J. Photochem. Photobiol. A, v.196, N 2-3, 262-267, 2008.

183. А.В.Лаптев, Н.Е.Беликов, А.Ю.Лукин, Ю.П.Строкач, В.А.Барачевский, М.В.Алфимов, О.В.Демина, В.И.Швец, Д.А.Складнев, А.А.Ходонов. Синтез спиропирановых аналогов ретиналя и исследование их взаимодействия с бактериоопсином из Halo-

bacterium salinarum. Биоорган. химия, т.34, №2, 276-284, 2008 (Rus.J.Biorg.Chem., v.34,N2,252-260, 2008).

184. В.А. Барачевский, О.И.Кобелева, Т.М.Валова, А.О. Айт, Л.С. Кольцова, А.И. Шиенок, Н.Л. Зайченко, А.В. Лаптев, А.А.Ходонов, О. Ю. Кузнецова, А. А. Дудинов, Б. В. Личицкий, М.М.Краюшкин. Спектральное проявление взаимодействия функционализированных фотохромных соединений с наночастицами благородных металлов. Теорет. и эксп. химия, т.48, 12-17, 2012.

185. М.М. Krayushkin, K.S.Levchenko, V.N.Yarovenko, I.V.Zavarzin, V.A.Barachevsky, Yu.A. Puankov, T.M.Valova, O.I.Kobeleva. Synthesis and study of photosensitive chromone derivatives for recording media of archival three-dimension optical memory. ARKIVOC, Is. IX, 269-283, 2009.

186. В.Ф. Манджигов, А.П.Дарманиян, В.А.Барачевский, Ю.Н. Герулайтис. Фотохромизм органических соединений под действием лазерного излучения, Оптика и спектр., т.32, 412-413, 1972.

187. М.М.Krayushkin, K.S.Levchenko, V.N.Yarovenko, L.V.Christoforova, V.A. Barachevsky, Yu.A. Puankov, T.M.Valova, O.I.Kobeleva, K.Lyssenko. Synthesis and reactivity of 1-aryl-9H-thieno[3,4-b]chromon-9-ones. New J. Chem, , v.33, 2267-2277, 2009.

188. М.М.Краюшкин, В.Н.Яровенко, К.С.Левченко, Т.М.Валова, О.И.Кобелева, В.А.Барачевский. Необратимые светочувствительные системы на основе производных хромона для фотоники. RU 2374237 C1. 22.06. 2009 г.

189. К.С.Левченко, В. А. Барачевский, В. Н. Яровенко, М. М. Краюшкин, И. С. Семенова, О. И. Кобелева, Т. М. Валова, П. С. Шмелин. Синтез и свойства светочувствительных соединений на основе бромсодержащих 3-ацил-2-фурилхромонов. Хим. гетероцикл. соед., № 2, 198-210, 2011.

190. В.Т.Шашкова, Л.Ф.Певцова, А.В.Котова, Л.А.Матвеева, Ю.П.Строкач, В.А.Барачевский, Б.И. Западинский. Живые полимеризационноспособные пленки для записи голограмм. RU 2 331 095. 10.08.2008.

191. V.Barachevsky, M. Alfimov, G.Chudinova, M. Kozlova, A. Tolmachev, N.Tvorogov. Photopolymerizable heterogeneous systems for nonsilver light-sensitive color paper. Proc. SPIE, v. 3227, 144-152, 1997.

192. В.А.Нефедов, И.Ю.Мартынов, В.А.Барачевский. Светочувствительный регистрирующий материал. RU 2302652. 10.07.2007.

193. А.О.Айт, В.А.Барачевский, М.Р.Митушев. Многослойная фотохромная теплосберегающая полимерная пленка. RU 101971 U1. 10.02.2011 г.

194. А.О.Айт, В.А.Барачевский, М.Р.Матушев. Многослойная фотохромная полимерная пленка. RU 110329 U1. 20.11.2011.

195. А.О.Айт, В.А.Барачевский, А.Е.Галашин, В.Т.Гвоздовский. Фотохромный триплекс. RU № 80 163 U1. 27.01.2009.

196. В.А.Барачевский, А. В.Котова, И. А.Матвеева, В. Т.Шашкова, Л. А.Певцова, А. О.Станкевич, Б. И.Западинский, А. О. Айт, А. А.Дунаев, О. В.Венидиктова, В. Я.Попкова, В.Йеннингер, Г.Лангштейн, А. Л.Гусев, Т. Н.Кондырина, Д. И.

Забабуркин. Полимеризационноспособная фотохромная композиция, фотохромный сетчатый оптический материал и способ его получения. RU 2402578. 27.10.2010.г.