

Коммуникация

Фотохромные свойства неорганических-органических веществ в видимом свете

Гибридная тонкая пленка фосфомолибденовой кислоты/политиофена

Ваньцин Чжао ¹, Хунмэй Чжао ¹, Вэй Фэн ² и Хунган Чжао ^{1,*}¹ Школа химии и химического машиностроения, Синьцзянский педагогический университет, Урумчи 830054, Китай² Ключевая лаборатория ресурсов подземных вод и окружающей среды, Министерство образования, Университет Цзилинь, Чанчунь

130021, Китай * Адрес для переписки: xjnu1609@xjnu.edu.cn

Аннотация: Синтезирована гибридная фотохромная пленка видимого света на основе соединения фосфорномолибденовой кислоты (ФМоА) с политиофеновой (ПТх) матрицей. Микроструктура и фотохромные свойства материалов были проанализированы с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) и ультрафиолетово-видимых спектров (УФ-видимая область). Согласно спектрам FTIR, геометрия РМоА и РТх хорошо сохранилась в гибридной пленке, и на границе раздела РМоА и РТх существует сильное взаимодействие. РФЭС-спектры выявили изменение химического микроокружения и восстановление атомов Моб⁺ в реакции фотовосстановления. Под воздействием видимого света композитная пленка меняла цвет с прозрачной на синюю и постепенно углублялась, образуя гетерополисиний цвет. Гибридная пленка также демонстрирует обратимость в присутствии кислорода. Результаты показали, что фотохромная реакция несовместима с механизмом фотоиндуцированного переноса электрона.

Ключевые слова: фосфорномолибденовая кислота; политиофен; фотохромизм; гибридный фильм



Цитирование: Чжао, В.; Чжао, Х.; Фэн, В.; Чжао,

Х. Фотохромные свойства в
видимом свете гибридной тонкой
пленки неорганической-органической
фосфомолибденовой кислоты и политиофена.
Химия 2024, 6, 469–475. <https://doi.org/10.3390/chemistry6030026>

Академический редактор: Маттиас Леманн

Поступила: 25 апреля 2024 г.

Пересмотрено: 1 июня 2024 г.

Принято: 5 июня 2024 г.

Опубликовано: 7 июня 2024 г.



Копирайт: © 2024 авторов.

Лицензиат MDPI, Базель, Швейцария.

Эта статья находится в открытом доступе.
распространяется на условиях и
условия Creative Commons

Лицензия с указанием авторства (CC BY)
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Фотохромные материалы рассматривались как перспективное направление исследований в области функциональных материалов и применялись в области оптических материалов для хранения информации, фотоэлектрических устройств, оптического переключения и биомедицинских исследований [1–4]. В последние годы разработка неорганических/органических композиционных материалов и внедрение в их приготовление технологии самосборки, темплатной химии и других методов значительно улучшили фотохромные свойства материалов, обеспечив более широкое направление при

Гетерополиоксометаллаты являются одними из самых популярных фотохромных материалов благодаря их высокой окислительной восстанавливаемости, высокой протонной проводимости и отличной растворимости [7,8]. Чтобы увеличить потенциал применения гетерополиоксометаллатов, были предприняты попытки ввести их в полимерные сетки для улучшения физических свойств фотохромных материалов, таких как механическая прочность, оптическая прозрачность и обрабатываемость [9–11]. Гетерополиоксометаллаты в качестве анионных носителей заряда использовались в неупорядоченных пленках, таких как золь-гель пленки, путем связывания с катионными группами на цепях органических полимеров посредством слабых взаимодействий, таких как водородная связь, электростатическая сила и сила Ван-дер-Ваальса. Сан и его коллеги [12] синтезировали гибридную пленку РМоА/поливинилпирролидон (ПВП) и обнаружили, что основной причиной фотохимической реакции является перенос протона между РМоА и матрицей РVPd. Взаимодействие полиоксометаллатов и полимера посредством нековалентных связей предложило полезный подход к улучшению физических и химических свойств неорганических/органических фотохромных материалов.

Политиофен (РТх) обладает хорошей фотоэлектрической стабильностью, хорошими пленкообразующими свойствами, высокой проводимостью и низкой шириной запрещенной зоны 2,02 эВ, что имеет большой потенциал применения в фотоэлектрической химии. РТх имеет большую π-сопряженную электронную систему, и его способность отдавать электроны лучше, чем у полипиррола и полианилина. ПТГ может образовывать

Фотохромные эксперименты проводились с использованием ксеноновой лампы мощностью 300 Вт (PLS-SXE, Пекин). Perfectlight Technology Co., Ltd., Пекин, Китай) с УФ-фильтром (проходит выше 400 нм) (длина волны) в качестве источника видимого света без каких-либо других источников света. Расстояние между лампа и пленка были отрегулированы на 150 мм. Были проведены эксперименты по облучению видимым светом. проводят на воздухе для получения серии кривых поглощения при различном облучении.

Фотохромные эксперименты проводились с использованием ксеноновой лампы мощностью 300 Вт (PLS-SXE, Beijing Perfectlight Technology Co., Ltd., Пекин, Китай) с УФ-фильтром (пропускающим длину волны более 400 нм) в качестве источника видимого света без какого-либо другого света. Расстояние между лампой и пленкой — 150 мм. Эксперименты по облучению видимым светом были проведены на воздухе для получения серии кривых поглощения при разном времени облучения. Затем композитную пленку выдерживали в темноте для наблюдения за временем отбеливания. Затем композитную пленку держали в темноте для наблюдения за процессом отбеливания. Процесс и соответствующее поглощение измеряли. Были проведены все эксперименты и измерена соответствующая оптическая плотность. Все эксперименты проводились при комнатной температуре.

3.3. Результаты

FTIR спектры чистых PMoA, PTh и гибридных пленок PMoA/PTh в диапазоне 4000–500 см⁻¹ показаны на рисунке 2. Пики поглощения при 1542 см⁻¹ и 1487 см⁻¹ относятся к валентным колебаниям политиофенового кольца соответственно. Характеристический пик поглощения при 1325 см⁻¹ был отнесен к валентному колебанию СН политиофенового кольца, а пик поглощения при 1031 см⁻¹ относится к плоскостным деформационным колебаниям связи СН политиофенового кольца. Поглощение. Пик при 783 см⁻¹ приписывается внеплоскостному колебанию связи СН, на эту связь накладывались сигналы PMoA. Они указывают на то, что структура ПТГ не повреждена. ПТГ не повреждена и не разрушена в гибридной пленке, а геометрическая структура ПТГ все еще сохраняется в композитной пленке. в составном фильме.

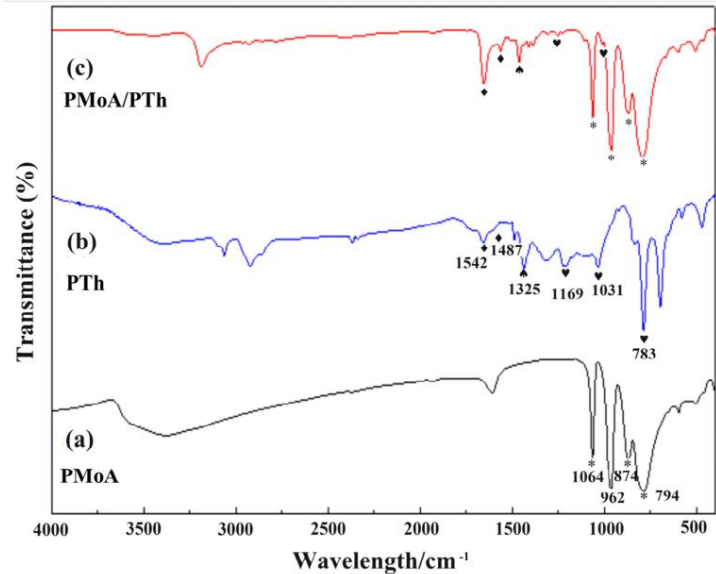
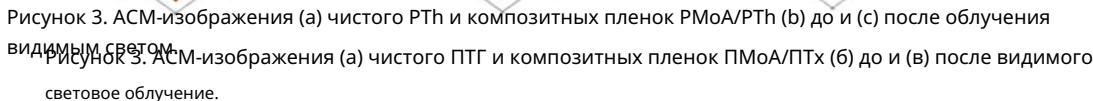
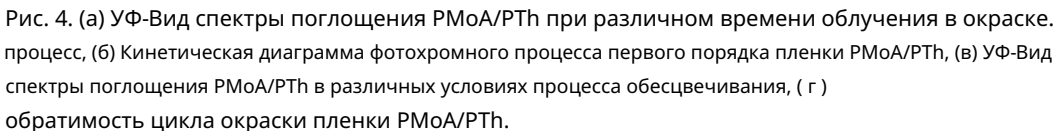


Рисунок 2. FTIR спектры PMoA, PTh и гибридной пленки PMoA/PTh.

В спектре PMoA/PTh присутствуют четыре типичные полосы: 1064, 962, 874 и 794–794 см⁻¹, соответствующие полосам колебаний ν(P=O), ν(Mo=O), ν(Mo=O) и ν(Mo=O), аналогичных таковым чистого PMoA и есть только некоторые изменения. Это демонстрирует, что геометрия Кеггина PMoA сохраняется в композитной пленке. Длина инфракрасной инфракрасной волны PMoA в композитной пленке преобразуется за счет усиления кулоновского кулоновского взаимодействия между PMoA и полимерной подложкой, и происходит перенос заряда. Изображения АСМ (рис. 3) отображают морфологию поверхности чистых ПТГ и гибридных пленок PMoA/ПТх до и после облучения видимым светом. Пленка ПТГ (рис. 3а) демонстрирует гибридные пленки до и после облучения видимым светом. Пленка РТх (рис. 3а) демонстрирует структуру в форме пика-пика с одинаковым размером частиц и среднее квадратичное значение шероховатости (RMS), профилированная структура с аналогичным размером частиц и среднее квадратичное значение шероховатости (RMS) составляла 7 нм. Как показано на рисунках 3б,с, морфология пленки явно изменилась после сочетания РТх и РМoА; Среднее квадратичное значение гибридных пленок РМoА/РТх составляло 18 нм (по сравнению с 7 нм для РТх). Можно предположить, что взаимодействие водородных связей между РТх полимерным цепям мешает действие частиц РМoА при взаимодействии сила водородных связей между полимерными цепями РМoА и РТх. После оптического света при освещении среднее квадратичное значение композитных пленок РМoА/РТх увеличилось с 18 до 31 нм, что указал на образование гетерополи синего в реакции фотовосстановления и переносе протона. увеличил пространственный угол полимера РТх.

[illegible]
$$3 - \ln(A\infty - A_f) =$$

$$\ln(A - A_t) = kt + b$$

где A_{∞} – значение оптической плотности при насыщении; A_t – значение поглощения при различных время облучения в процессе окрашивания; k — константа скорости. Константа скорости k процесса окраски составляет 0,16 мин⁻¹, что указывает на преимущества композитной пленки в фотохромный ответ.

На рисунке 4с показан процесс выцветания гибридной пленки РМоА/РTh. Когда гибридную пленку РМоА/РTh помещали на воздух, цвет постепенно тускнел, но если гибридную пленку помещали в атмосферу N2 на 20 суток, цвет композитной пленки не исчезнет. Это явление указывает на то, что кислород играет ключевую роль в содействии изменению цвета гибридной пленки. Также было обнаружено, что нагрев может ускорить выцветание. процесс, поскольку поглощение уменьшалось на 80%, когда пленка была нагрета до 373 К в течение 30 минут.

Эксперименты по циклу окраски-обесцвечивания были проведены для определения обратимость гибридной пленки РМоА/РTh. После облучения видимым светом для достижения насыщенного поглощения пленку можно было повторно использовать путем термообработки. Как показано на рисунке 4d, наблюдалось лишь небольшое изменение поглощения после 7-кратной переработки, демонстрируя, что Гибридная пленка РМоА/РTh обладает благоприятными фотохромными свойствами и высокой стабильностью. и хорошая обратимость фотохромной пленки [13].

Как показано в таблице 1, гибридная пленка РМоА/РTh демонстрировала высокое максимальное поглощение по сравнению с другими репрезентативными образцами, что указывало на то, что эффект протонирования РМоА по отношению к РTh в тонкой гибридной тонкой пленке РМоА/РTh может увеличить максимальное поглощение и значительно улучшенные фотохромные свойства РМоА/РTh. гибридный фильм.

Таблица 1. Сравнение максимального поглощения фотохромных материалов.

Фотохромный материал	Толщина образцов	Максимальное поглощение	Ссылка
Гибридизация РМоА/PANI тонкой пленки	1,8 мкм	3,46	[10]
ZnO/ПМоА	-	0,21	[14]
WO3 -х КД	-	2,75	[15]
Гибриды РVP/HTA	-	0,78	[16]
Пленки с квантовыми точками CsPbBr3	-	0,78	[17]
Композитная пленка РМоА/ZnO/PVP	-	0,32	[18]
Октамолибдаты ароматического сульфония	твердое состояние	3.2	[19]
Композитная пленка РМоА/РTh	2,0 мкм	5.27	Эта работа

Для дальнейшего анализа изменения химического микроокружения в процессе фотохромизма были использованы РФЭС-спектры Мо 3d для гибридной пленки РМоА/РTh без и с облучения показаны на рисунке 5 и в таблице 2. Для гибридной пленки РМоА/РTh появились пики при 232,9 эВ и 236,0 эВ, относящиеся к 3d3/2 и 3d5/2 Мо6 + соответственно, а пики при 235,5 эВ и 231,8 эВ были отнесены к 3d3/2 и 3d5/2 Мо5 +., соответственно. Появление здесь характерных пиков Мо5+ можно предположить как Рентгеновское возбуждение. После облучения пики Мо6+ смещаются до 233,0 эВ и 236,2 эВ, а пики Мо5+ появляются при 231,7 эВ и 235,0 эВ. По сравнению с предыдущим спектром при облучении энергия связи 3d Мо6 + увеличивается, а доля Мо5+ также увеличивается. увеличивается с 0,09 до 0,33, что связано с превращением Мо6+ в Мо5+. Может быть пришли к выводу, что химическое микроокружение атомов Мо изменилось из-за реакция фотовосстановления.

Таблица 2. Энергии связи энергетического уровня Мо3d и отношения Мо5+/Мо гибридной пленки РМоА/РTh до и после освещения.

Образец	Мо5+		Мо6+		Соотношение Мо5+/Мо
	3d3/2	3d5/2	3d3/2	3d5/2	
До	231,8	235,5	232,9	236,0	0,09
После	231,7	235,0	233,0	236,2	0,33

от 0,09 до 0,33, что объясняется превращением Mo6+ в Mo5+. Можно сделать вывод, что химическое микроокружение атомов Mo изменилось за счет фотовосстановления реакция.

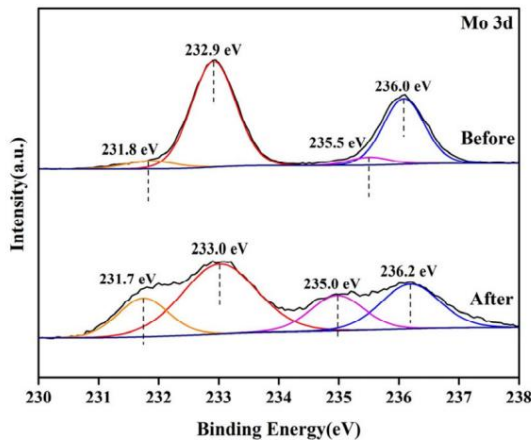


Рис. 5. РФЭС-спектры Mo 3d для гибридной пленки RMoA/PTx без и с облучением.

Чтобы объяснить вышеупомянутое фотохромное поведение, был изучен механизм гибридной пленки. Таблица 2. Энергии связи энергетического уровня Mo3d и отношения Mo5+/Mo гибридной пленки RMoA/PTx до и после облучения.

		Ионы		Mo6+	Mo5+/Mo
Образец		3d3/2	3d5/2	3d3/2	3d5/2
Перед		231,8	235,5	232,9	236,0
После		233,0	235,0	236,2	236,2
		0,33	0,09	0,09	0,09

металлов Mo5+ в окисленных полиоксометаллатах имеют электронную конфигурацию d0; поэтому, низкоэнергетических электронов 2p-орбиталей кислорода был возбужден до высокоэнергетического состояния металла. d-орбиталями при облучении, что представляет собой так называемую связь кислород-металл (ОМ)-лиганд-металл. перенос заряда (LMCT). Таким образом, заряды электрона и дырки были разделены, что обеспечило условие стабильной окраски композитной пленки. Дырка, оставшаяся у атома кислорода

Чтобы объяснить вышеупомянутое фотохромное поведение, был изучен механизм гибридной пленки. Таблица 2. Энергии связи энергетического уровня Mo3d и отношения Mo5+/Mo гибридной пленки RMoA/PTx до и после облучения.

Чтобы объяснить вышеупомянутое фотохромное поведение, был изучен механизм гибридной пленки. Таблица 2. Энергии связи энергетического уровня Mo3d и отношения Mo5+/Mo гибридной пленки RMoA/PTx до и после облучения.

Чтобы объяснить вышеупомянутое фотохромное поведение, был изучен механизм гибридной пленки. Таблица 2. Энергии связи энергетического уровня Mo3d и отношения Mo5+/Mo гибридной пленки RMoA/PTx до и после облучения.

Химия 2024, 6, для ЭКСПЕРТНОЙ РЕЦЕНЗИИ

взаимодействием с гетерополисином, а протоны переходят в RMoA. В этом процессе Mo6+ расследовано. Фотохромные свойства неорганических/органических гибридных пленок давно изучены. Когда отбеливание бумаги в основном зависит от взаимодействия между неорганическими и органическими компонентами. Происходит процесс, электрон перешел от атома Mo5+ к молекуле кислорода под действием ионы металлов в окисленных полиоксометаллатах имеют электронную конфигурацию d0; поэтому, низкоэнергетических электронов 2p-орбиталей кислорода были возбуждены до высокоэнергетического состояния металла. Показана схема фотохромного механизма гибридной пленки RMoA/PTx. d-орбитали при облучении, что представляет собой так называемую связь кислород-металл (ОМ) лиганд-металл. на рисунке 6. Из-за протонирования электронная плотность RMoA уменьшилась во время переноса заряда (LMCT). Таким образом, заряды электрона и дырки были разделены, что обеспечило условие стабильной окраски композитной пленки. Дырка, оставшаяся у атома кислорода

взаимодействовал с несвязывающими электронами на атоме серы РТх. В этом процессе Mo6+ восстанавливается до гетерополи синего, а протоны переходят в RMoA. атом восстанавливался до атома Mo5+, образуя гетерополисиний цвет. Когда отбеливание произошел процесс, электрон перешел от атома Mo5+ к молекуле кислорода

в аэробных условиях, так что полиоксометаллаты окислялись.

Схема фотохромного механизма гибридной пленки RMoA/PTx представлена на рис.

Рисунок 6. За счет протонирования электронная плотность RMoA уменьшалась во время взаимодействия с РТх, что вызвало спектральное красное смещение, которое подтвердило существование границы раздела взаимодействия между RMoA и РТх. Под воздействием света гетерополи кислоты восстанавливается. в гетерополисиний, а протоны переходят в RMoA.

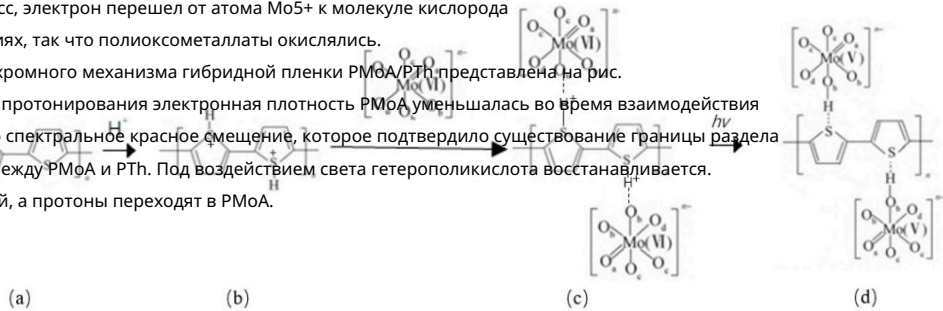


Рис. 6. Схема фотохромного механизма гибридной пленки RMoA/PTx; (a) РТх; (b) РТх протонированный; (c) гибридная пленка RMoA/PTx до и (d) после облучения видимым светом.

4. Выводы

Фотохромные материалы RMoA/PTx были приготовлены путем нанесения гибридного раствора на подложку с образованием пленки. Геометрия RMoA и РТх была хорошо раствор на подложке с образованием пленки. Согласно спектрам FTIR, геометрия RMoA и РТх хорошо сохранилась в гибридной пленке. При облучении протоны полимера возбуждаются и передаются в RMoA через мостик переноса заряда. Ганический полимер возбуждается и переносится в RMoA через мостик переноса заряда. Гетерополисиний возник в результате реакции фотовосстановления, сопровождавшейся изменением химического микроокружения. Процесс отбеливания происходил за счет окисления атомов Mo5+. химическая среда. Процесс отбеливания происходил за счет окисления атомов Mo5+ до атомов Mo6+ в присутствии кислорода. Более того, гибридный фильм имел благоприятное значение. атомам Mo6+ в присутствии кислорода. Более того, гибридная пленка обладала хорошей реверсивностью и стабильностью. Процесс протонирования между RMoA и матрицей РТх считался основной причиной фотохимической реакции.

Вклад автора.: WZ участвовал в общей организации всех экспериментов и подготовке оригинальных проектов. HZ (Хунмэй Чжао) внес свой вклад в эксперименты по фотохромным свойствам.

обратимость и стабильность. Процесс протонирования между РМоА и матрицей РТН считался основной причиной фотохимической реакции.

Вклад автора: WZ участвовал в общей организации всех экспериментов и подготовке оригинального проекта. HZ (Хунмей Чжао) участвовал в экспериментах по фотохромным свойствам, анализе и визуализации данных. ВФ участвовал в подготовке и характеристике образцов. HZ (Хунган Чжао) внес свой вклад в предоставление идей для всех экспериментов, методологии и надзора.

Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Финансирование: Данное исследование не получило внешнего финансирования.

Заявление о доступности данных: данные содержатся в статье.

Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рекомендации

1. Цинь, Б.; Чен, НУ; Лян, Х.; Фу, Л.; Лю, Х.; Цю, Х.; Лю, С.; Сонг, Р.; Тан, З. Обратимая фотопереключаемая флуоресценция в тонких пленках неорганических наночастиц и полиоксометаллатных ансамблей. *Варенье. хим. Соц.* 2010, 132, 2886–2888. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
2. Гу, ХХ; Би, Л.Х.; Фу, Ю.; Ван, Н.; Лю, С.; Тан З. Многосостоятельное электрически управляемое переключение фотолюминесценции. *хим. наук.* 2013, 4, 4371–4377. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
3. Лу, Дж.; Чжан, Х.; Карта.; Сингх, В.; Чжан, К.; Ню, Дж.; Ван, Дж. Фотохромное поведение нового полиоксомолибдата/алкиламина. *композит в твердом состоянии. Дж. Матер. наук.* 2018, 53, 3078–3086. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
4. Граца, В.К.; Соуза, СМ; Коэльо, П. К фотохромным материалам, окрашивающим серый цвет, с использованием винилиденнафтофуранов. *Краситель. Пигмент.* 2020, 176. [\[CrossRef\]](#)
5. Бао, Х.Ф.; Ван, ХУ; Ян, GQ; Ли, Х.; Чжан, Ф.; Фэн, В. Фотохромизм неорганических и органических веществ в ультрафиолетовом и видимом свете. *многослойные пленки на основе полиоксометаллата и полиакриламида. Коллоидный полим. наук.* 2014, 292, 2883–2889. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
6. Цзин, ХФ; Цзоу, ДЛ; Мэн, QQ; Чжан, В.; Чжан, Ф.; Фэн, В.; Хан, Х. Изготовление и фотохромизм в видимом свете новой гибридной неорганически-органической пленки на основе полиоксометаллатов и этилцеллюлозы. *Неорг. хим. Коммун.* 2014, 46, 149–154. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
7. Чжан Дж.; Цзоу, К.; Тиан, Х. Фотохромные материалы: больше, чем кажется на первый взгляд. *Адв. Матер.* 2013, 25, 378–399. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
8. Тошихиро, Ю. Фото- и электрохромизм полиоксометаллатов и родственных материалов. *хим. Ред.* 1998, 98, 307–326.
9. Чен Дж.; МэйАй, Л.; Фэн, В.; Сюн, DQ; Лю, Ю.; Цай, В.М. Получение и фотохромизм нанокомпозитных тонких пленок на полиоксометаллате и полиэтиленгликоле. *Матер. Летт.* 2007, 61, 5247–5249. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
10. Цзэн, Орегон; Го, С.Ю.; Солнце, Ю.Б.; Ли, З.; Фэн, В. Индуцированные протонированием улучшенные оптически-световые фотохромные свойства гибридной тонкой пленки неорганической-органической фосфомолибденовой кислоты и полианилина. *Нanomaterialы* 2020, 10, 1839. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
11. Лу, К.; Сан, Ю.; Лю, Дж.Л.; Ван, Х.; Лю, СЛ; Фэн, В. Повышенный фотохромизм композита гетерополикислота/поливинилпирролидон. *пленка легированием TiO2. Дж. Прил. Полим. наук.* 2015, 132, 41583. [\[CrossRef\]](#)
12. Сунь, Ю.; Ван, Х.; Лу, Ю.; Сюань, Л.; Ся, С.; Фэн, В.; Хан, Х. Получение и фотохромизм фосфомолибденовых кислот в видимом свете. *Гибридная пленка кислота/поливинилпирролидон. хим. Рез. Подбородок. унив.* 2014, 30, 703–708. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
13. Вэй Ю.; Хан, Б.; Донг, З.; Фэн, В. Высокоорганизованные массивы нанотрубок TiO2, модифицированные фосфомолибденовой кислотой, с быстрыми фотохромными характеристиками. *Дж. Матер. наук. Технол.* 2019, 35, 1951–1958. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
14. Юэ, Т.; Хан, Б.; Ван, Х.; Залог.; Фэн, В. Мгновенные фотохромные характеристики композитных порошков на основе видимого света. *на нанотрубках РМоА и ZnO. хим. Летт.* 2019, 48, 851–854. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
15. Лю Ци Ху Ч Ван, Х. Гидротермальный синтез квантовых точек оксида вольфрама с дефицитом кислорода с превосходными фотохромными свойствами. *обратимость. Прил. Серфинг. наук.* 2019, 480, 404–409.
16. Ли, Д.; Вэй, Дж.; Донг, С.; Ли, Х.; Ся, Ю.; Цзяо, Х.; Ван, Т.; Чен, Д. Новые гибриды PVP/НТА для многофункциональной переписываемой бумаги. *Приложение ACS. Матер. Интерфейсы* 2018, 10, 1701–1706. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
17. Кайд, С.М.; Альхарби, Ф.Х.; Беджа, И.; Назируддин, депутат Кнессета; Алдвейян А.С. Снижение порога усиленной спонтанной эмиссии в пленках квантовых точек CsPbBr3 путем управления компактным слоем TiO2. *Нanomaterialы* 2020, 10, 1605. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
18. Сонг, Т.; Ли, Дж.; Дэн, К.; Гао, Ю. Получение, характеристика, фотохромные свойства и механизм создания композитной пленки РМоА/ZnO/ПВП. *Молекулы* 2023, 28, 7605. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
19. Кумар А.; Гупта, АК; Деви, М.; Гонсалвес, Кентукки; Прадип, К.П. Инженерная многофункциональность гибридных полиоксометаллатов: ароматические октамолибдаты сульфония как превосходные фотохромные материалы и саморазделяющиеся катализаторы эпоксидирования. *Неорг. хим.* 2017, 56, 10325–10336. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)

Отказ от ответственности/Примечание издателя: Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельному автору(ам) и соавторам(ам), а не MDPI и/или редактору(ам). MDPI и/или редактор(ы) не несут ответственности за любой вред людям или имуществу, возникший в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.