

Что такое фотокатализ под действием ультрафиолетового излучения?

Фотокатализ — это процесс, при котором световое излучение, в том числе ультрафиолетовое, активирует химические реакции на поверхности полупроводникового материала. Его особенность заключается в том, что сам катализатор не расходуется, но ускоряет реакции за счёт образования активных частиц.

Основой фотокаталитических систем служат полупроводники, обладающие шириной запрещённой зоны порядка нескольких электрон-вольт. При облучении ультрафиолетом в таких материалах происходит возбуждение электронов, что создаёт электронно-дырочные пары. Эти носители заряда вступают в реакции с адсорбированными на поверхности веществами — водой, кислородом, органическими соединениями, приводя к их окислению или разложению.

Фотокатализ имеет важное отличие от обычных химических процессов: для его протекания необходимо не тепло, а квант света. Именно поэтому длина волны излучения играет ключевую роль — она должна быть меньше порогового значения, соответствующего энергии запрещённой зоны катализатора.

Какие материалы используются как фотокатализаторы в ультрафиолетовых системах?

Наиболее распространённым фотокатализатором является диоксид титана (TiO_2). Его широкое применение объясняется химической инертностью, устойчивостью к ультрафиолету и высокой фотокаталитической активностью. Диоксид титана существует в нескольких кристаллических модификациях, из которых рутил и анатаз обладают наибольшим практическим значением.

При освещении TiO_2 ультрафиолетовыми лучами в диапазоне длин волн до 400 нм происходит переход электрона из валентной зоны в зону проводимости, что создаёт активные центры для окислительно-восстановительных реакций. Эти центры способны генерировать радикалы гидроксила и атомарный кислород, обеспечивая разрушение органических загрязнителей и инактивацию микроорганизмов.

Для повышения эффективности фотокатализа применяют модифицированные формы TiO_2 — например, с введением примесей металлов, благородных элементов или оксидов. Это позволяет смещать

спектральный отклик материала в сторону более длинных волн и расширять диапазон поглощения света.

Как происходит взаимодействие света и вещества при фотокатализе?

Физико-химическая сущность фотокатализа заключается в генерации электронно-дырочных пар в полупроводнике под действием УФ-излучения. Фотоны, энергия которых превышает ширину запрещённой зоны, выбивают электроны из валентной зоны, оставляя положительные дырки.

Электроны восстанавливают кислород с образованием супероксид-анионов (O_2^-), а дырки окисляют молекулы воды, формируя гидроксильные радикалы ($\cdot OH$). Эти активные частицы обладают чрезвычайно высокой окислительной способностью и способны разрушать органические соединения вплоть до образования углекислого газа и воды.

Процесс можно представить в виде последовательных стадий:

1. Поглощение фотона и возбуждение электрона.
2. Миграция носителей заряда к поверхности катализатора.
3. Реакции электронов и дырок с адсорбированными молекулами.
4. Образование промежуточных активных радикалов и продуктов окисления.

Эти реакции протекают только при наличии света соответствующей энергии — без него система возвращается в исходное состояние.

Как фотокатализ применяется в процессах очистки и обеззараживания?

Фотокаталитические методы активно используются для деструкции органических веществ, дезактивации патогенных микроорганизмов и удаления запахов. При этом катализатор не вступает в реакцию с веществами напрямую, а лишь создаёт условия для их окисления при взаимодействии с активными формами кислорода.

УФ-фотокатализ эффективен при обеззараживании воздуха, воды и поверхностей. В водных системах он позволяет разрушать не только микробиологические загрязнения, но и органические соединения, устойчивые к традиционным методам очистки. В системах вентиляции и кондиционирования фотокаталитические покрытия применяются для нейтрализации летучих органических соединений и запахов.

Среди преимуществ метода — отсутствие необходимости в химических реагентах, низкое энергопотребление и отсутствие вторичных отходов. Ограничивающим фактором является сравнительно малая квантовая эффективность и необходимость использования источников с высокой интенсивностью УФ-излучения.

Что влияет на эффективность фотокаталитических процессов?

Результативность фотокатализа определяется рядом параметров:

- **длиной волны излучения**, которая должна соответствовать ширине запрещённой зоны катализатора;
- **интенсивностью облучения** — при её увеличении скорость реакции растёт до определённого предела;
- **температурой среды**, влияющей на подвижность носителей заряда;
- **площадью активной поверхности катализатора**, зависящей от структуры и дисперсности материала;
- **наличием электронных ловушек** (примесей, дефектов), замедляющих рекомбинацию электронов и дырок.

Также большое значение имеют концентрация кислорода, pH среды и характер адсорбированных веществ. Для достижения высокой эффективности требуется оптимизация каждого из этих факторов, что обычно достигается экспериментально.

Почему TiO_2 остаётся эталонным материалом для фотокатализа?

Диоксид титана сочетает стабильность, доступность и высокую фотохимическую активность. Его ширина запрещённой зоны составляет около 3,0–3,2 эВ, что соответствует излучению с длиной волны примерно 385–400 нм.

Под воздействием УФ-света TiO_2 генерирует гидроксильные радикалы, способные разрушать широкий спектр органических соединений, включая токсичные и стойкие загрязнители. Благодаря этим свойствам TiO_2 часто называют «универсальным» фотокатализатором.

Его недостаток — слабое поглощение в видимом диапазоне, что ограничивает применение при обычном освещении. Решением этой проблемы стало легирование диоксида титана различными металлами или азотом, что позволяет расширить диапазон спектральной чувствительности.

Как исследуется фотокаталитическая активность и какие существуют методы оценки?

Для оценки активности фотокатализатора применяются модельные реакции разложения органических веществ, например метиленового синего, фенола или ацетальдегида. Скорость фотодеструкции отражает совокупное действие всех факторов: интенсивности света, поверхности, структуры и чистоты материала.

Измерения обычно проводят при контролируемых условиях — с постоянным потоком воздуха или воды, известной дозой излучения и фиксированным временем воздействия. При этом рассчитываются квантовые выходы, константы скорости и степень разложения.

Для практического применения важен не только высокий уровень активности, но и устойчивость материала к фотодеградациии, а также возможность регенерации поверхности катализатора после длительной эксплуатации.