**Punit Rana**

**23115118**

Answer 1:   
  
Titanium dioxide is very effective in breaking down organic pollutants due to its high reactivity under UV rays. When exposed to this light, titanium dioxide creates "holes" with a strong oxidation capacity, allowing it to break down complex pollutant molecules into simpler, less harmful compounds. In addition, titanium dioxide is chemically inactive and stable, making it safe and effective for long-term use in pollution control.  
  
This material has a space of about 3. 2 eV, an ideal level for the absorption of UV light, which initiates the generation of electron hole pairs. These couples promote powerful oxidation and reduction reactions essential for the separation of pollutants. The alignment of titanium dioxide energy bands with redox potentials allows smooth electron transfer, further improving the efficiency of these reactions. In addition, the titanium dioxide effectively separates and displaces the generated electrons and holes, preventing their recombination, which is essential to sustain the reaction over time.  
  
*Technical applications*:  
Doping: By introducing dopants such as nitrogen, carbon or metals in titanium dioxide, its band gap can be reduced. This allows the material to absorb light in the visible range, thus increasing its photocatalytic activity. This bandgap arrangement allows titanium dioxide to be more effective in breaking down pollutants under different lighting conditions.  
  
Surface modification:  Coating titanium dioxide with other materials or integrating with different substances improves its ability to attract organic pollutants, thus increasing its photocatalytic performance. By using materials that improve light absorption, more electrons and charge holes are generated when exposed to light. This leads to a greater number of redox reactions, making the pollutant breakdown process more efficient.  Nanostructuring:  The reduction of titanium dioxide particles to the nanoscale increases the surface area and provides more active sites for reactions, thus improving its performance in pollutant degradation.  
  
These properties and modifications make titanium dioxide a very effective photocatalyst for the degradation of organic pollutants.  
  
  
 Answer 2:   
  
Titanium dioxide (TiO2) is a popular photocatalyst for water splitting applications due to its stability, affordability and suitable band structure. However, there are challenges that limit its effectiveness, and various strategies have been developed to address these limitations.  
  
 Challenges of TiO2 in water splitting:   
1. Wide Range: Titanium dioxide only absorbs UV light, which makes up a small fraction of the sun, limiting its ability to harness the full potential of solar energy. The wide bandgap of 3.2 eV means that it requires high-energy UV light to excite the electrons, which are less abundant in natural sunlight.  
  
2.  Low efficiency : Wide spacing results in lower efficiency for water splitting because TiO2 cannot fully use the solar spectrum. 3. High electron-hole recombination rate: Electron-hole pairs created in titanium dioxide often recombine before contributing to the photocatalytic reaction, reducing its water splitting efficiency.  
  
4. Limited Visible Light Absorption: Titanium Dioxide's inability to absorb visible light limits its potential since visible light makes up a large portion of the sun.  
  
5. High potential for hydrogen evolution:  Titanium dioxide requires a significant amount of energy for the hydrogen evolution reaction, which affects the water splitting efficiency.  
  
6.  Phase Dependence:  Titanium dioxide exists in several crystal phases, such as rutile, anatase and brookite, each of which has different water splitting efficiencies. Rutile is the most effective phase for this purpose, although it is less common and more difficult to work with.  
  
**Strategies to improve the efficiency of TiO2 for water splitting**:   
Doping: The introduction of dopants, such as nitrogen or carbon, in TiO2 can lower its band gap and allow it to absorb visible light. This approach extends its range of light absorption and improves its ability to separate charges.  
  
Surface modification:  Modifying the surface of TiO2, for example by covering it with materials such as graphene or carbon nanotubes, can improve electron transfer and reduce the recombination of charge carriers, thus making the most efficient photocatalytic process.  
  
Composite materials:  Combining TiO2 with other materials, such as other semiconductors, can increase light absorption and improve charge separation, leading to better performance in water splitting applications.  
  
Nanostructuring:  The creation of nanostructured TiO2 increases its surface area and light absorption capacity, allowing more active areas and better overall efficiency.  
  
Structural control:  Optimizing the crystalline structure and morphology of TiO2 improves its photocatalytic activity. Fine-tuning the shape and form provides additional active sites, making the response more effective.  
  
Synergistic effects: Mixing TiO2 with other catalysts can create synergistic effects, where the combination works better than TiO2 alone to improve light absorption and charge separation.  
  
Together, these methods help solve the limitations of titanium dioxide in water splitting and significantly improve its performance.  
  
  
 **Answer 3:**   
  
To effectively use inorganic quantum dots (QDs) in the detection of specific metal ions, several critical factors must be considered:  
  
1. Surface functionalization:  The quantum dots must be coated with specific ligands or receptors that are selectively attracted to the target metal ion. This ensures that the quantum dots only interact with the target ion, minimizing interference with other substances.  
  
2. Stability: Quantum dots must be stable under different environmental conditions, such as changes in pH, temperature and ionic strength. Stability is essential to maintain reliable performance without degradation.  
  
3. Optical properties: Quantum dots are known for their bright and stable light emission, which is essential for detection. When they bind to a metal ion, their luminescence should show a noticeable change, both increasing and decreasing, to ensure a clear and simple detection process.  
  
4.  Low detection limits:  Quantum dots must be sensitive enough to detect metal ions at very low concentrations, often in the nanomolar range. This sensitivity is particularly important for applications such as environmental monitoring and medical diagnostics, where the detection of small amounts of metal ions is essential.

5. Selectivity:  Quantum dots must be able to distinguish the target metal ion from other ions or substances in the sample. Selectivity can be achieved by designing quantum dots with specific ligands that bind exclusively to the desired ion.  
  
6. Biocompatibility: Quantum dots must be non-toxic and safe for use in living organisms or ecosystems.