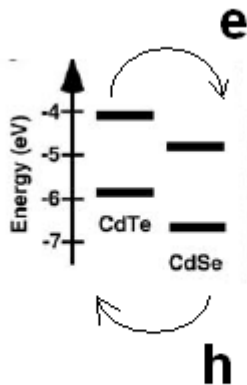


Решение

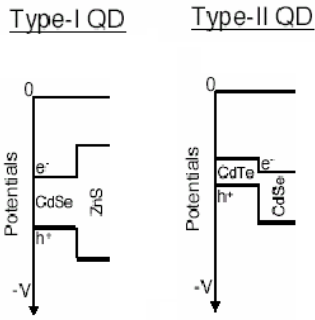
1. Предложенная в задаче солнечная батарея является действующей и предложена в статье Gur I., Fromer N.A., Geier M.L., Alivisatos A.P. Air-Stable All-Inorganic Nanocrystal Solar Cells Processed from Solution // Science 310, 462-465 (2005). Механизм работы солнечной батареи на квантовых точках относится к так называемому донорно-акцепторному типу, когда на энергетической диаграмме нижний незаполненный уровень донорной молекулы (или квантоворазмерный уровень в зоне проводимости квантовой точки CdTe) лежит выше по энергии (относительно вакуума) по отношению к соответствующему уровню акцепторной молекулы (квантовой точки CdSe). Для верхнего заполненного уровня (или квантоворазмерного уровня в валентной зоне) ситуация обратная.



ФотоЭДС будет возникать за счет разного энергетического положения соответствующих квантоворазмерных уровней для зоны проводимости или для валентной зоны квантовых точек CdTe и CdSe. Для объемных CdTe и CdSe сродство к электрону, определяющее положение края зоны проводимости, равно 4.2 и 4.8 эВ соответственно. Разное энергетическое положение уровней приведет к пространственному разделению фотовозбужденных носителей заряда. Необходимо отметить отличие от стандартных солнечных батарей на полупроводниковых p-n переходах, в которых есть встроенное электрическое поле в области p-n перехода. В рассмотренной батарее на квантовых точках такого поля изначально нет.

Фотовозбужденные электроны будут переходить в слой квантовых точек CdSe, где они имеют меньшую энергию, фотовозбужденные дырки – в слой CdTe. Соответственно за транспорт электронов будет отвечать слой квантовых точек CdSe, за транспорт дырок – слой CdTe.

Другими материалами могут быть полупроводники с различным сродством к электрону, которое определяет разность энергий квантоворазмерных уровней в зоне проводимости. Разрыв краев зон в зоне проводимости должен иметь такой же знак. Вообще говоря, это полупроводниковые пары, относящиеся к так называемому типу II гетеропереходов.



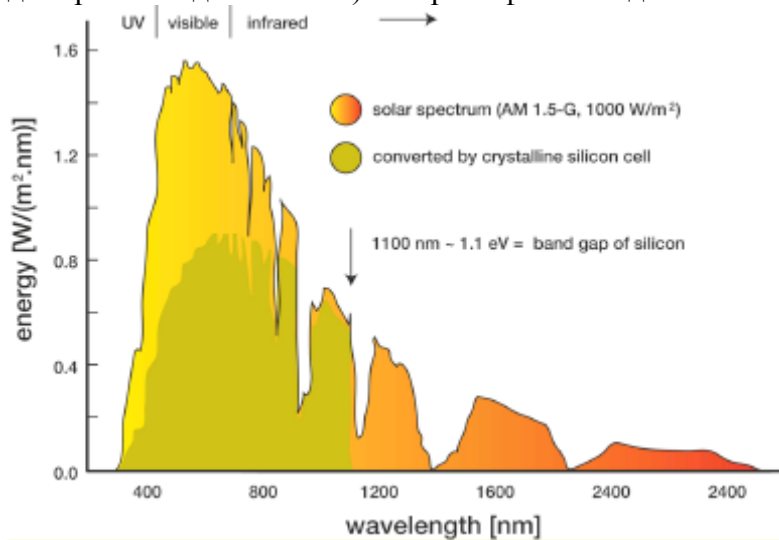
Например, CdS-CdTe (сродство к электрону 4.7 и 4.2 эВ), CdS-ZnSe (4.7 и 4.0 эВ).

2. Для создания солнечных батарей привлекательны следующие свойства коллоидных квантовых точек: возможность контроля эффективной ширины запрещенной зоны, т.е. возможность подстройки спектральных характеристик квантовых точек при варьировании размера под требуемые длины волн; высокая фотостабильность, свойственная неорганическим материалам; растворимость с образованием зелей, что позволяет легко манипулировать квантовыми точками. В работах Климова из Лос-Аламоса указывается также возможность мультипликации фотовозбужденных электрон-дырочных пар в квантовых точках, т.е. когда 1 фотон с высокой энергией рождает более 1 электрон-дырочной пары.

Стабилизатор пассивирует поверхностные дефекты в квантовых точек, препятствует их агрегации и делает квантовые точки растворимыми. Как правило стабилизаторы – это длинноцепочечные органические молекулы, одним концом привязанные к поверхности квантовой точки, например, олеиновая кислота, триоктилфосфиноксид.

Для солнечной батареи стабилизатор должен быть короткоцепочечным, чтобы обеспечить минимальное расстояние между квантовыми точками в слое, и обеспечить возможность транспорта электронов и дырок по прыжковому механизму. Например, пиридин, бутиламин.

3. Длину волны максимума излучения солнца можно рассчитать по формуле Вина для излучения абсолютно черного тела $\lambda(\text{мкм}) = 2898/T(\text{K}) - 0.483 \text{ мкм} = 483 \text{ нм}$, что несколько отличается от реального максимума 560 нм (можно принять решения и тех кто даст расчеты для 560 нм!). Энергия фотона с длиной волны 483 нм при этом равна 2.56 эВ.



В идеальном случае случае эффективная ширина запрещенной зоны для квантовой определяется формулой для потенциальной ямы для электрона и дырки по соотношению

$$E = E_g + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2R^2} \left[\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right]$$

$$\text{или } E(\text{эВ}) = E_g(\text{эВ}) + \frac{0.38}{R(\text{нм})^2} \left[\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right]$$

где m_e , m_h – эффективные массы электрона и дырки, E_g – ширина запрещенной зоны объемного материала, R – радиус квантовой точки.

Для приведенных значений ширин запрещенной зоны и эффективных масс получаем для CdSe

$$2.56 = 1.8 + \frac{3.8}{R^2}, \text{ таким образом } R(\text{CdSe}) = 2.2 \text{ нм}$$

для CdTe

$$2.56 = 1.5 + \frac{3.8}{R^2}, \text{ таким образом } R(\text{CdTe}) = 1.9 \text{ нм}$$

4. Другой принципиальной схемой батареи на квантовых точках может быть, например, так называемая солнечная батарея Гратцеля. Майкл Гратцель в 1991 г. предложил наносить органический сенсибилизатор на пористый слой оксидного полупроводника диоксида титана. Поглощенный фотон рождает электрон и дырку в молекуле сенсибилизатора, электрон переходит в слой диоксида титана, дырка может сниматься либо за счет электрохимической реакции с использованием электролита, либо переходить, например в дырочно-проводящий слой на основе органических полимеров. В качестве фотосенсибилизатора можно использовать квантовые точки. Схема приведена на рисунке.

