

Таблица 2 – Важнейшие фраунгоферовы линии, поглощаемые биомолекулами и атмосферой

Символ	Цвет	Длина волны, нм	Элемент	Биологическая молекула	Источник света
A	красная	759	O ₂ , земная атмосфера		
B	красная	686	O ₂ , земная атмосфера		Неоновая ДНеСГ 500-1
C	красная	656	H ₂		
D	желтая	589	Na	Фермент(K+Na) АТФаза (белок)	Натриевые лампы высокого давления
E	зеленая	526	Fe	гемоглобин	
b	зеленая	518 516	Fe, Mg	гемоглобин, хлорофилл	Магнелиевые лампы-вспышки
F	синяя	486	H ₂		
G	синевiolet.	430	Fe, Ca		Аргонная лампа
H	фиолетовая	396	Ca	рибонуклеаза, активатор ферментов	

Приведенные соображения в виде гипотезы проверены на некоторых простейших организмах, на функциях растений и в опытах с вирусом СПИД, когда при облучении магниевой разрядной лампой была установлена инактивация вируса уже при непродолжительном облучении. Это свидетельствует о новой экологической проблеме, необходимости учета фраунгоферовых линий в технике генерирования и передачи искусственного, которые обеспечивают световой комфорт и жизнеспособность организмов. Особое внимание следует уделять ситуациям, когда реализуются повышенные уровни освещенности. В первую очередь это относится к лампам дугового разряда с парами металлов и инертными газами. Изложенные здесь обстоятельства должны приниматься во внимание при проектировании освещения сельскохозяйственных предприятий и производств и в полной мере они выполнимы только при создании совмещенных систем освещения – естественного и искусственного – на основе световодов.

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОТОЭЛЕКТРОДОВ

Ключник Т.В. (БГАТУ), Гременок В.Ф. (ОИФТТП НАН Б), г. Минск

Развитие водородных (гелиоводородных) технологий требует новых фоточувствительных материалов для использования их в качестве фотоэлектрода при электрохимической конвекции солнечной энергии в химическую энергию.

Наиболее используемыми оксидами, которые резистентны к коррозии и фотокоррозии в водной среде, являются TiO_2 , CaTiO_3 и SrTiO_3 . Другие материалы, которые также могут использоваться это Fe_2O_3 , GaP и GaAs – поликристаллические полупроводники.

TiO_2 – полупроводниковое соединение. В таких соединениях электроны могут находиться в двух состояниях: свободном и связанном. В первом состоянии электроны движутся по кристаллической решётке, образованной катионами Ti^{4+} и анионами кислорода O^{2-} . Во втором состоянии – основном, электроны связаны с каким-либо ионом кристаллической решётки и участвуют в образовании химической связи. Для перевода электрона из связанного состояния в свободное необходимо затратить энергию не менее 3,2 эВ. Эта энергия может быть доставлена квантами света с длиной волны $\ell < 390 \text{ нм}$. Таким образом, при поглощении света в объёме частицы TiO_2 рождается свободный электрон и электронная вакансия (в физике полупроводников такая электронная вакансия называется дыркой).

Один из наиболее перспективных материалов для создания высокоэффективных фотоэлектрохимических ячеек – арсенид галлия. Это объясняется такими его особенностями, как:

- почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина запрещенной зоны 1,43 эВ;
- повышенная способность к поглощению солнечного излучения: требуется слой толщиной всего в несколько микрон;
- относительная нечувствительность к нагреву батарей на основе GaAs;
- характеристики сплавов GaAs с алюминием, мышьяком, фосфором или индием дополняют характеристики GaAs, что расширяет возможности при проектировании солнечных элементов.

Типичный солнечный элемент на основе GaAs состоит из очень тонкого слоя AlGaAs в качестве окна.

Использование кремния в качестве фотоэлектрохимических генераторов водорода или же в виде фотоэлектрохимических преобразователей солнечного света затрудняется его химической нестабильностью в этих процессах. В кислых и нейтральных средах кремний покрывается окислом с шириной оптической зоны около 4 эВ, который затормаживает все процессы переноса заряда на рабочую поверхность. Путём создания сложных многослойных структур можно контролируемо управлять фотовольтаическими и фотоэлектрическими параметрами кремния. Контролируемое управление параметрами силицида и

кремниевой подложки, (высота потенциального барьера Шотки и характер границы раздела силицид / кремний, высота барьера и глубина и резкость профиля n-p перехода, плотность электронных состояний на поверхности и на границе раздела диоксид кремния / силицид / n-p переход, толщина туннельного слоя окисла, значение уровня Ферми силицида по отношению к окислительно-восстановительному уровню электролита и т.д.) обеспечивает быструю кинетику переноса носителей заряда к рабочей поверхности фотоэлектрода. Перенос осуществляется через силицидовый слой из области генерации электронно-дырочных пар, которая находится далеко в глубине объёма кремниевой матрицы с минимальным количеством центров рекомбинации носителей заряда. Это существенно повышает квантовый выход зарядов, участвующих в фотоэлектрохимической реакции генерации водорода. Путём нанесения на поверхность кремния тонких (от 1 нм до 100 нм) плёнок Ni, Pd, Pt и последующего формирования силицидовых фаз удалось достичь стабильности работы до нескольких часов работы. Использование метода ионной имплантации для ионной очистки поверхности и для ионного перемешивания нанесённого слоя металла с поверхностным слоем атомов кремния позволило значительно увеличить срок работы фотоэлектродов с нескольких часов до нескольких сотен часов длительной работы.

Аморфный кремний (a-Si:H) выступил в качестве более дешевой альтернативы монокристаллическому. Поэтому для существенного поглощения видимого света достаточно пленки a-Si:H толщиной 0,5–1,0 мкм вместо дорогостоящих кремниевых 300-мкм подложек. Наиболее простые конструкции СЭ из a-Si:H были созданы на основе структуры металл – полупроводник (диод Шотки).

При использовании стеклянных подложек на них наносят прозрачную для света проводящую оксидную пленку (TCO) из SnO_2 , In_2O_3 или $\text{SnO}_2+\text{In}_2\text{O}_3$ (ITO), что позволяет освещать элемент через стекло. Поскольку у нелегированного слоя электронная проводимость выражена слабо, барьер Шотки создается за счет осаждения металлических пленок с высокой работой выхода (Pt, Rh, Pd), которая обуславливает образование области положительного объемного заряда (обеднённого слоя) в a-Si:H.

При нанесении аморфного кремния на металлическую подложку образуется нежелательный потенциальный барьер a-Si:H / металлическая подложка, высоту которого необходимо уменьшать. Для этого используют подложки из металлов с малой работой выхода (Mo, Ni, Nb). Перед нанесением аморфного кремния

желательно осадить на металлической подложке тонкий слой (10–30 нм) a-Si:H, легированный фосфором. Не рекомендуется использовать в качестве материалов Al а также Cu и Ag, поскольку a-Si:H обладает плохой адгезией к ним.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ, НЕОБХОДИМЫМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНОГО ВОДОРОДА

Ключник Т.В. (БГАТУ), Гременок В.Ф. (ОИФТТП НАН Б), г. Минск

Кристаллическим компонентом фотоэлектрохимической ячейки для производства водорода используя солнечную энергию является фотоэлектрод. Следовательно, эта технология может стать коммерчески выгодной, когда преобразование солнечной энергии в химическую превысит 10%.

Фотоэлектрический преобразователь (ФЭП) солнечной энергии с поверхностно-барьерной структурой (ПБС) p-Si/TiM/ITO, где оптически прозрачный электропроводящий полимерный материал (ПМ), обладает электронной проводимостью по примесной зоне и представляет собой оптически прозрачный полимерный диэлектрик, в матрицу которого для создания электропроводности введены комплексы металлов переменной валентности (КМПВ). Благодаря высокой степени адгезии используемых полимерных материалов к полупроводникам, стёклам ПМ может быть использован в качестве клея для соединения элементов конструкции ФЭП, а именно, кремния и противоиэлектрода, оптически прозрачного токопроводящего материала, например, оксида олова, индия или их сплава ITO.

Для эффективного преобразования солнечной энергии в химическую энергию продуктов фотоэлектролиза необходим фотоэлектрод, чувствительный к видимому свету. Этому условию удовлетворяет кремний; однако кремниевый фотоанод нестабилен в условиях фотоэлектролиза водных растворов: он окисляется с образованием на поверхности изолирующей оксидной плёнки SiO₂. Простейшая конструкция солнечного элемента (СЭ) – прибора для преобразования энергии солнечного излучения – на основе монокристаллического кремния основана на следующем: на малой глубине от поверхности кремниевой пластины p-типа сформирован p-n-переход с тонким металлическим контактом. На тыльную сторону пластины нанесен сплошной металлический контакт. Когда СЭ освещается, поглощенные фотоны генерируют неравновесные электрон - дырочные пары. Электроны, генерируемые в p-слое вблизи p-n-перехода, подходят к p-n-переходу и существующим в нем электрическим полем выносятся в n-область. Аналогично