

АНАЛИЗ БУФЕРНЫХ СЛОЕВ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

СЕРЕДА А.С., ГОРБАЧ А.П.

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Рассмотрены аспекты и требования, предъявляемые к буферным слоям. Проанализированы существующие буферные слои солнечных элементов.

Буферный слой – тонкая пленка, находящийся между поглощающим слоем и слоем прозрачно-проводящего оксида. Поглощающий слой должен быть р-типа с удельной проводимостью около $1 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ и шириной запрещённой зоны от 1.1 до 1.7 эВ, в зависимости от состава. Прозрачно-проводящий оксид должен быть прозрачным для света (ширина запрещённой зоны больше чем 3.5 эВ), проводящим (удельная проводимость более чем $10^3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) и также быть n-типа для возможности реализации р-n перехода, требуемого для сбора носителей заряда.

Если создан переход, поглощающий полупроводник/прозрачно-проводящий оксид его эффективность будет ограничена следующими факторами:

– рассогласование между ширинами запрещённых (1.1-1.7 эВ по сравнению с 3.5-4 эВ) приводит к появлению паразитных эффектов между зоной проводимости и валентной зоной двух слоёв. Эти эффекты заметно влияют на эффективность элементов;

– токи утечки из-за наличия области беспорядочных границ зёрен: два соединения являются проводниками, интердиффузия на границах зёрен может привести к пропаданию фотовольтаического эффекта, особенно во время нанесения прозрачнопроводящего оксида.

Поэтому необходимо ввести тонкий слой, называемый буферным, для оптимизации эффективности элементов. Этот слой должен иметь следующие свойства:

– ширина запрещённой зоны в промежутке между двумя другими, чтобы позволить «мягкий» переход от полупроводника к прозрачно-проводящему оксиду, т.е. значение между 2.5 и 3.2 эВ;

– электропроводность n-типа для формирования перехода с поглощающим слоем р-типа проводимости; кроме того, для предотвращения токов утечки, его удельная проводимость должна быть значительно меньше, чем у поглощающего слоя, т.е. около $10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$;

– пленка быть морфологически однородная для избежания эффекта короткого замыкания на границах зёрен.

Данные свойства в действительности близки к свойствам тонкоплёночного сульфида индия для $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ (CIGS) солнечных элементов. Пленки CdS имеют главные недостатки:

– наличие кадмия, который очень токсичен, что противоречит идее «нетоксичные источники энергии» – требование индустрии производства солнечных элементов.

– химические методы, которые будут прерывать непрерывный процесс нанесения в вакууме.

В последнее десятилетие были предприняты значительные усилия для того, чтобы заменить буферный слой CdS другими нетоксичными материалами. Это вызвано следующими обстоятельствами:

– существующим потенциальным риском для окружающей среды, исходящим от применения технологии при получении буферных слоев CdS в производстве модулей на основе пленок CIGS;

– ожидаемыми технологическими проблемами, которые возникнут вследствие применения невакуумного процесса в производстве;

– потенциальной возможностью увеличения генерационного тока (фототока) в спектральном диапазоне 350-550 нм и, следовательно, повышением эффективности фотоячейки;

– запрещением кадмия законодательными актами в различных странах, что может вызвать проблемы на рынке производства, и сбыта тонкоплёночных солнечных модулей, содержащий Cd.

Использование более широкозонных материалов с целью замены буферного слоя CdS ($E_g \approx 2.4$ эВ) может улучшить квантовую эффективность солнечных элементов на основе пленок CIGS в коротковолновой области, что приведет к увеличению тока короткого замыкания. Буферные слои на основе (Cd,Zn)S имеют ширину запрещенной зоны больше 2.4 эВ и лучше согласуются по кристаллической решетке с поглощающим слоем CIGS. Мотивы поиска альтернативных буферных слоев по отношению к буферным слоям на основе CdS – это не только исключение токсического воздействия Cd, но также и в том, чтобы улучшить светопропускание в коротковолновой области при

использовании более широкозонных материалов. Солнечные элементы на основе буферных слоев ZnS ($E_g \approx 3.6$ эВ) и $\text{In}(\text{OH})_x\text{S}_y$ ($E_g \approx 2.54$ эВ) достигли высокой эффективности преобразования на значительной площади, равной 16.9% и 15.7%, соответственно. Солнечные элементы на основе пленок CIGS с двойными буферными слоями Zn(O,S)/ZnO, полученные методом ALD, достигли средней эффективности на осажденной площади, равной 16.0%. Тонкие пленки соединений ZnS, $\text{In}(\text{OH})_x\text{S}_y$, Zn(O,S), ZnO являются весьма перспективными материалами для солнечных элементов на основе бескадмиевых буферных слоев для солнечных элементов на основе CIGS среди альтернативных материалов. Процесс осаждения буферного слоя из химической ванны может влиять на поверхностные зарядовые состояния или на состояния на границах раздела в пленках CIGS и, следовательно, также влиять на электрические свойства поглощающего слоя.

Список использованных источников

- [1] Properties of 19.2% efficiency ZnO/CdS/CuInGaSe₂, thin-film solar cells / K. Ramanathan [et al.] // Prog. Photovolt: Res. Appl. – 2003. – Vol. 11. – P. 225-230.
- [2] High-efficiency polycrystalline CdTe thin-film solar cells / T.A. Gessert [et al.] // Solar Energy. – 2004. – Vol. 77, № 6. – P. 803-814.
- [3] Thin film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency / J. Britt [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 1993. – Vol. 62. – P. 2851-2853.
- [4] Thin-Film Solar Cells: An Overview / K.L. Chopra [et al.] // Prog. Photovolt: Res. Appl. – 2004. – Vol. 12. – P. 69-92.
- [5] Effect of hydrogen dilution on the structure of amorphous silicon alloys / D.V. Tsu [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 1997. – Vol. 71. – P. 1317-1319.