Inżynieria warstw półprzewodnikowych w ogniwie perowskitowym

Engineering of semiconductor layers for perovskite solar cells.

Katarzyna Gawlińska - Nęcek

Streszczenie

Materiały półprzewodnikowe stosowane w fotowoltaice powinny być tanie, wydajne i łatwe w wytworzeniu. Wychodząc naprzeciw tym wymaganiom, szczególnie chętnie rozwijanym kierunkiem w ostatnich latach, są ogniwa perowskitowe na bazie jodku ołowiowo-metyloamonowego i jego pochodnych.

Praca dotyczy inżynierii warstw półprzewodnikowych wchodzących w skład ogniwa perowskitowego i przedstawia wyniki kluczowych prac, które doprowadziły do wytworzenia ogniwa o 15 % sprawności konwersji słonecznego promieniowania elektromagnetycznego w energię elektryczną.

Ogniwa perowskitowe realizowane były w strukturze n-i-p z zastosowaniem rusztowania z porowatego tlenku. Oznacza to, że perowskit nanoszony był na warstwę transportującą elektrony (ETL), a następnie pokrywany warstwą transportującą dziury (HTL). Całość procesu dopełniało próżniowe naparowanie elektrody Au. Aby zapewnić właściwą morfologię perowskitu, testowano metodę jedno oraz dwustopniowej depozycji przy użyciu wirówki. Jest to nieskomplikowana technika pozwalająca na uzyskanie jednorodnych warstw o żądanej grubości. Tę samą metodę wykorzystano do naniesienia warstw ETL i HTL. Badano wpływ warstwy podłożowej na wielkość ziaren perowskitu oraz podjęto próbę wyjaśnienia obecności rezydualnego jodku ołowiu w strukturze ogniwa. Zbadano także, jak atmosfera wytwarzania perowskitu wpływa na parametry I-V ogniw.

Rozwinięte zostało zagadnienie wytwarzania warstwy ETL metodą zol-żel. Wyjaśniono jak proces starzenia zolu tytanowego wpływa na właściwości optoelektroniczne warstwy TiO_2 oraz jak przekłada się to na parametry pracy ogniwa. Jako metodę porównawczą zastosowano rozpylanie magnetronowe, a naniesione warstwy charakteryzowały się grubością od 8 do 60 nm.

W pracy zaproponowano ponadto, oryginalne, półprzewodnikowe materiały organiczne do zastosowania w roli HTL. Były to związki na bazie struktur karbazolowych, poliazometin lub fenoksazyny, charakteryzujące się niskim kosztem i prostymi metodami syntezy. Największą poprawę sprawności zanotowano dla materiału z czterema grupami karbazolowymi w strukturze. Natomiast związki będące pochodnymi poliazometin spowodowały obniżenie gęstości prądu zwarciowego ogniw ale zwiększyły ich stabilność. Zaproponowane materiały mogą stanowić podstawę do dalszych prac nad zastąpieniem

najczęściej stosowanego, jednak bardzo drogiego, HTL jakim jest Spiro-OMeTAD.

Ogół prowadzonych badań pozwolił na opracowanie efektywnej metody wytwarzania ogniw perowskitowych w przepływie osuszonego powietrza. Podkreślić należy, iż w toku prac wytworzono najwyżej sprawne ogniwo perowskitowe w Polsce o powierzchni aktywnej 0,25 cm2.

Abstract

Semiconductor materials used in photovoltaics should be cheap, efficient and easy to manufacture. To meet these requirements, perovskite solar cells based on methylammonium-lead iodide and its derivatives are highly developed in recent years.
The work concerns the engineering of semiconductor layers included in the perovskite solar cell and presents the results of key works that led to produce of a device with 15% efficiency.
Perovskite solar cells were prepared in the n-i-p structure using a porous oxide scaffold. This means that the perovskite was applied to the electron transporting layer (ETL) and then covered with the hole transporting layer (HTL). The whole process was completed by vacuum evaporation of the gold electrode. To ensure the optimal perovskite morphology, the one- and two-step deposition methods were tested using a spin-coater. It is an uncomplicated method that allows to obtain homogeneous layers of the desired thickness. The same method was used to apply ETL and HTL layers. The effect of the substrate layer on

the size of perovskite grains was investigated and an attempt was made to explain the presence of residual lead iodide in the cell structure. It was also tested how the environment of perovskite production affects the I-V parameters of the solar cells.
The ETL layer obtained by the sol-gel method was investigated. It was explained how the aging process of the titanium sol influences the optoelectronic properties of the TiO2 layer and what is its impact on electrical parameters. As a comparative method, magnetron sputtering was applied, and the deposited layers were characterized by a thickness of 8 to 60 nm.
The work also proposed original, organic semiconductor materials for use as HTL. These were compounds based on carbazole, polyiazomethines or phenoxazine structures, characterized by low cost and simple synthesis methods. The greatest improvement in efficiency was noted for the material with four carbazole groups in the structure. On the other hand, compounds based on poliazomethines caused a reduction in the short-circuit current density of the cells, but increased their stability. The proposed materials can be the inspiration for further work on replacing the most-used, but very expensive, HTL which is Spiro-OMeTAD.
All studies allowed to develop an effective method of producing perovskite solar cells in the flow of dried air. It should be emphasized that in this works, the most efficient perovskite solar cell in Poland with an active area of 0.25 cm2 was obtained.

Recenzja - Profesor Z. Bielecki

Recenzja - Profesor D. Kaczmarek