
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 628.92/.97-544.64/52
DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-10-880-883

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОЭЛЕКТРОДОВ ГЕНЕРАТОРА ВОДОРОДА

М. В. Пузык, И. А. Ермаков, В. С. Ермолаев, Б. П. Папченко, А. С. Усиков

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: puzyk@mail.ru*

Разработана экспериментальная установка, обеспечивающая определение эффективности полупроводниковых фотоэлектродов генератора водорода на основе нитрида галлия. Установка позволяет одновременно измерять мощность светового потока, значение фототока и фотопотенциала, объемы выделяющихся газов (водорода на катоде и кислорода на аноде).

Ключевые слова: фотоэлектролиз воды, фотогенератор водорода, нитрид галлия

С 1970-х гг. ведутся работы по поиску альтернативных источников энергии. Солнечная энергетика на полупроводниках — одно из таких бурно развивающихся направлений; также ведутся разработки по фотоэлектролизу воды на основе полупроводниковых фотоэлектродов. Причины таких исследований очевидны: есть неисчерпаемые источники энергии (Солнце) и сырья (Мировой океан) [1].

С точки зрения термодинамики разность потенциалов между электродами для разложения воды на простые вещества (молекулярные водород и кислород) должна быть больше 1,23 эВ. Эта величина соответствует излучению ближней ИК-области (~1000 нм). Однако вода не поглощает в ближнем инфракрасном и во всем видимом диапазоне [2]. Известно много полупроводниковых материалов, ширина запрещенной зоны которых находится в этом диапазоне, но в водных растворах фотоэлектроды из них неустойчивы из-за коррозии, поэтому бесперспективны. В настоящее время наиболее исследуемый широкозонный (3,4 эВ) полупроводниковый материал — это нитрид галлия (GaN), его окислительно-восстановительные потенциалы указывают на химическую стойкость в водных растворах [3]. Для исследования эффективности полупроводникового фотоэлектрода генератора водорода авторами разработаны экспериментальная установка, блок-схема которой изображена на рис. 1 (1 — источник излучения: светодиод, имитатор солнца и др.; 2 — источник постоянного тока; 3 — генератор водорода с измерителями объема водорода и кислорода — 5 и 6; 4 — измеритель мощности УФ-излучения ТКА-ПКМ(12); 7 — амперметр; 8 — вольтметр), и модель генератора водорода на рис. 2 (1 — заливное отверстие для электролита; 2 — камера для электролита; 3 — бюретка для измерения объема газа — 10 мл ± 0,1 мл; 4 — основание; 5 — полупроводниковый элемент — GaN; 6 — платиновый электрод; 7 — подставка).

Как видно из спектра пропускания, приведенного на рис. 3 [4], GaN эффективно поглощает УФ-излучение на длине волны менее 375 нм, которого в солнечном спектре ~5 % [1]. Поэтому для фотоэлектролиза воды нами использовались различные источники УФ-излу-

чения различной мощности: светодиод с максимумом излучения 365 нм (80 Вт/м²); светодиод с максимумом излучения 345 нм (40 Вт/м²); имитатор Солнца с ксеноновой лампой 150 Вт (20 Вт/м²). Разная длина волны и световая мощность источников света необходима для выявления разрушений, вызванных фотокоррозией [5].

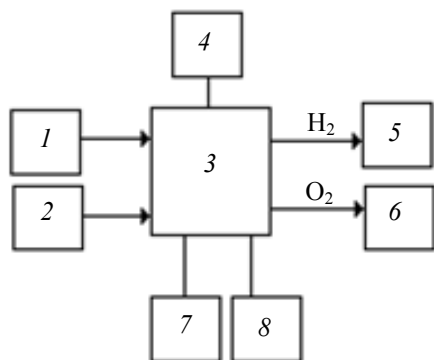


Рис. 1

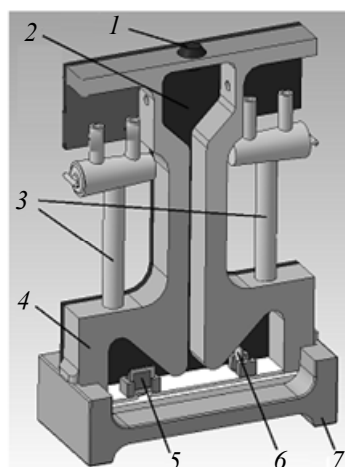


Рис. 2

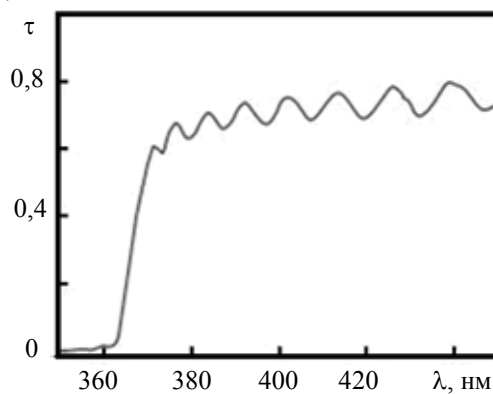


Рис. 3

В качестве электролита был выбран водный раствор щелочи, иные электролиты — соль и кислота — непригодны из-за большего времени (несколько десятков минут) установления более низких значений фототока и потенциала.

Под эффективностью (η) полупроводникового электрода в настоящей работе понимается отношение удвоенного числа выделившихся молекул водорода к числу поглощенных квантов:

$$\eta = \frac{2N(\text{число молекул водорода})}{N(\text{число фотонов})}$$

Удвоение молекул водорода необходимо, поскольку при попадании кванта света на полупроводник рождается электронно-дырочная пара. На катоде по известному уравнению $2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2$ два электрона генерируют молекулу водорода. А на аноде к четырем дыркам приходят четыре электрона от воды (или гидроксид-ионов) и образуется одна молекула кислорода: $4\text{OH}^- - 4\bar{e} = \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Поэтому объем кислорода всегда в два раза меньше объема водорода.

Проведенные экспериментальные исследования показали [6], что эффективность генерации водорода зависит от множества параметров, главные из которых — тип проводимости GaN, концентрация носителей, концентрация электролита. Так, наилучшие результаты были получены при облучении УФ-источником (800 Вт/м²) нитрида галлия (концентрация свободных носителей заряда $2 \cdot 10^{18}$ см³), значение фототока 800 мА, фотопотенциал 1,0 В, скорость образования водорода 1 мл/ч, кислорода 0,5 мл/ч, с эффективностью 0,03.

Работа в Университете ИТМО проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение 14.575.21.0054, уникальный идентификатор RFMEFI57514X0054).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Легасов В. А. Водородная энергетика // Природа. 1977. № 3. С. 3—17.
2. Варфоломеев С. Д. Конверсия энергии биокаталитическими системами. М.: Изд-во МГУ, 1981. 256 с.
3. Куэй Р. Электроника на основе нитрида галлия / Пер. с англ. Ю. А. Концевого, Е. А. Митрофанова. М.: Техносфера, 2011. 587 с
4. Заяц Н. С., Генцарь П. А., Бойко В. Г., Литвин О. С., Вуйчик Н. В., Стронский А. В., Янчук И. Б. Оптические свойства пленок GaN/Al₂O₃ легированных кремнием // Физика и техника полупроводников. 2009. Т. 43, вып. 5. С. 617—620.
5. Усиков А. С., Helava H., Nikiforov A., Пузык М. В., Папченко Б. П., Ковалева Ю. В., Макаров Ю. Н. Электрохимическое травление р-n-GaN/AlGaN-фотоэлектродов // Письма в ЖТФ. 2016. Т. 42, вып. 9. С. 80—87.
6. Puzyk M. V., Usikov A. S., Kurin S. Yu., Puzyk A. M., Fomichev A. D., Ermakov I. A., Kovalev D. S., Papchenko B. P., Helava H., Makarov Yu. N. Application of GaN for photoelectrolysis of water // J. of Phys.: Conf. Ser. 2015. Vol. 643, N 012127. DOI:10.1088/1742-6596/643/1/012127.

Сведения об авторах

- Михаил Владимирович Пузык** — канд. хим. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра лазерных технологий и лазерной техники; E-mail: puzyk@mail.ru
- Владимир Сергеевич Ермолаев** — Университет ИТМО; кафедра лазерных технологий и лазерной техники; ведущий инженер; E-mail: vermolaev@yahoo.com
- Иван Андреевич Ермаков** — Университет ИТМО; кафедра лазерных технологий и лазерной техники; инженер-исследователь; E-mail: ermik89@mail.ru
- Борис Петрович Папченко** — Университет ИТМО; кафедра лазерных технологий и лазерной техники; зам. начальника научно-технического отдела; E-mail: b.p.papchenko@gmail.com
- Александр Сергеевич Усиков** — канд. физ.-мат. наук; Университет ИТМО; кафедра лазерных технологий и лазерной техники; E-mail: alexander.usikov@nitride-crystals.com

Рекомендована кафедрой
лазерных технологий и лазерной техники

Поступила в редакцию
24.06.16 г.

Ссылка для цитирования: Пузык М. В., Ермаков И. А., Ермолаев В. С., Папченко Б. П., Усиков А. С. Экспериментальная установка для исследования эффективности полупроводниковых фотоэлектродов генератора водорода // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 10. С. 880—883.

EXPERIMENTAL SETUP TO STUDY THE EFFICIENCY OF SEMICONDUCTOR PHOTOELECTRODE IN HYDROGEN GENERATOR

M. V. Puzyk, I. A. Ermakov, V. S. Ermolaev, B. P. Papchenko, A. S. Usikov

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: puzyk@mail.ru

An experimental setup is developed to study the performance of semiconductor photoelectrode hydrogen generator based on gallium nitride. The setup allows simultaneous measurement of the output light flux, photocurrent and photovoltage, the volume of released hydrogen (at the cathode) and oxygen (at the anode).

Keywords: photoelectrolysis of water, hydrogen photogenerators, gallium nitride

Data on authors

- Mikhail V. Puzyk** — PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Laser Technologies and Systems; E-mail: puzyk@mail.ru
- Vladimir S. Ermolaev** — Университет ИТМО; кафедра лазерных технологий и лазерной техники; ведущий инженер; E-mail: vermolaev@yahoo.com
- Ivan A. Ermakov** — ITMO University, Department of Laser Technologies and Systems; Research Engineer; E-mail: ermik89@mail.ru
- Boris P. Papchenko** — ITMO University, Department of Laser Technologies and Systems; Deputy Head of Scientific and Technical Section; E-mail: b.p.papchenko@gmail.com
- Alexander S. Usikov** — PhD; ITMO University, Department of Laser Technologies and Systems; E-mail: alexander.usikov@nitride-crystals.com

For citation: Puzyk M. V., Ermakov I. A., Ermolaev V. S., Papchenko B. P., Usikov A. S. Experimental setup to study the efficiency of semiconductor photoelectrode in hydrogen generator // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 10. P. 880—883 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-10-880-883