

УДК 681.2.08

## Применение толстых Ag–Pd-пленок для измерения параметров лазерного излучения

Д. Г. Калюжный, В. А. Александров, В. В. Бесогонов

*Экспериментально изучена поверхностная термоЭДС в резистивных толстых Ag–Pd-пленках при облучении их поверхности пучком лазерного излучения. Показано, что участок облучаемой лазером поверхности Ag–Pd-пленки приобретает отрицательный заряд, что обусловлено разделением зарядов вследствие эффекта увлечения зарядов тепловыми фононами и их диффузии в область с меньшей температурой. Установлено, что амплитуда и частота сигналов ЭДС зависят соответственно от мощности и частоты импульсов лазерного излучения. Предложена конструкция чувствительного элемента приемника для регистрации параметров лазерного излучения.*

PACS: 85.60.Gz; 42.62.Cf

*Ключевые слова:* увлечение зарядов, фононы, резистивные пленки, лазерное излучение, полупроводник.

### Введение

Оперативный мониторинг выходных параметров современного лазерного оборудования как технологического, так и научно-исследовательского, отличающегося большой разнотипностью, желателен, а во многих системах и крайне необходим. При этом применение мощных промышленных лазеров диктует требование стойкости фотоприемников к воздействию лазерного излучения [1, 2]. Параметры излучения лазерных источников до сих пор остаются предметом исследования и научных разработок. Измеренные пространственные, временные, спектральные и энергетические параметры позволяют судить о характере лазерного излучения.

В процессе проведения экспериментальных работ с использованием лазерного излучения необходимо решать ряд задач по управлению и измерению параметров лазерного луча, учитывая при

этом, что применяемые датчики должны выдерживать воздействие мощных лазерных импульсов без разрушения.

Целью данной работы является экспериментальное исследование поверхностной термоЭДС в толстопленочных Ag–Pd-элементах в интересах возможной разработки конструкции фотоприемника на их основе.

### Экспериментальные результаты

Толстопленочные серебро-палладиевые (Ag–Pd) элементы изготавливаются из тонкодисперсных порошков оксида серебра  $\text{Ag}_2\text{O}$ , палладия Pd и стекла марки С-660а, полученных по известным технологиям [3]. В готовый порошок вводится органическое связующее, позволяющее создать пасту.

Эксперименты проводились с толстопленочными элементами, изготовленными из пасты ПР-100. В состав пасты входят компоненты в следующем соотношении (в весовых %):  $\text{Ag}_2\text{O}$  — 19,7, Pd — 25,3, остальное стекло. Паста наносится методом шелкографии на керамическую подложку и затем подвергается высокотемпературной обработке. Основной состав изготовленной таким образом пленки представлен частицами сплава Ag–Pd и оксида палладия PdO. Оксид палладия, являющийся полупроводником *p*-типа, определяет термоэлектрические свойства пленки.

В процессе термической обработки материала резистивной пасты, содержащей оксид серебра  $\text{Ag}_2\text{O}$  и металлический палладий Pd, наряду с образованием частиц сплава Ag–Pd и оксида

Калюжный Дмитрий Геннадьевич, старший научный сотрудник.

Александров Владимир Алексеевич, старший научный сотрудник.

Бесогонов Валерий Валентинович, старший научный сотрудник.

Институт механики Уральского отделения РАН (ИМ УрО РАН), Россия, Удмуртская республика, 426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34.

Тел. (3412) 508-200. E-mail: ipm@udman.ru; ava@udman.ru

Статья поступила в редакцию 22 марта 2016 г.

© Калюжный Д. Г., Александров В. А., Бесогонов В. В., 2016

палладия PdO, между этими частицами создаются и переходные слои металл–полупроводник *p*-типа, обладающие свойством барьера Шоттки. Это позволяет использовать их в качестве фотопреобразователей [4].

Наличие оксида PdO на поверхности Ag–Pd-резисторов было подтверждено восстановлением палладия Pd на поверхности пленки в среде водорода в интервале температур от 50 до 120 °С и при электролитическом наводораживании пленок при комнатной температуре. При взаимодействии с водородом сопротивление Ag–Pd-пленки снижается, а поверхность приобретает металлическую проводимость. ТермоЭДС на поверхности пленок, регистрируемая методом термозонда, также указывает на полупроводниковые свойства поверхности [5, 6].

Экспериментальные исследования поверхности термоЭДС в Ag–Pd-пленках проводились при облучении их поверхности нормально падающим пучком лазерного излучения. В качестве источника излучения использовался CO<sub>2</sub>-лазер с длиной волны 10,6 мкм мощностью 12 Вт, работающий в импульсном режиме. Частота следования импульсов программно изменялась от 700 до 1000 кГц. Длительность импульсов — 100 мкс. С целью предотвращения разрушения поверхности пленки сфокусированным излучением лазера, пленочный элемент располагался вблизи фокуса линзы. При этом на поверхность пленки подавалось излучение с размером пятна около 1 мм. ЭДС снималась с поверхности пленки с помощью медных зондовых электродов, сигнал от которых, пройдя через усилитель, подавался на осциллограф. Перемещение точки воздействия лазера на поверхность пленки осуществлялось механической двухкоординатной системой.

Эксперименты показали, что термоЭДС на поверхности Ag–Pd-пленки, возникающая при облучении лазером, имеет постоянную и однополярную импульсную составляющие. Знак термоЭДС на зондовых электродах зависит от координаты воздействия пучка лазера. Зависимость величины и полярности термоЭДС между электродами на поверхности пленки от координаты точки воздействия лазерного излучения указывает на полупроводниковые свойства поверхности, имеющей дырочную проводимость. Возникновение постоянной составляющей ЭДС на поверхности пленки при воздействии лазерным излучением нами объясняется увлечением носителей заряда тепловыми фонами в результате локального нагревания и возникновения градиента температуры на поверхности [7, 8].

Импульсная составляющая ЭДС обусловлена изменением температуры облучаемого участка поверхности резистивных пленок за период следования лазерных импульсов.

Амплитуда постоянной составляющей ЭДС на два порядка больше амплитуды однополярных импульсов, частота следования которых соответствует частоте импульсов лазерного излучения. Установлено, что участок облучаемой лазером поверхности пленки приобретает отрицательный заряд, что обусловлено большей подвижностью дырок по сравнению с электронами в материале пленки.

В исследуемых пленках обнаруживается также импульсная фотопроводимость при воздействии импульсов лазера. На рис. 1 представлена зависимость амплитуды импульсной ЭДС от координаты места падения лазерного луча на поверхность пленки при различных значениях напряжения смещения, подаваемого на электроды, расположенные по краям пленки при облучении импульсами лазера. Экспериментальные данные получены для пленки размером 2×2 мм. На врезке показано направление движения луча лазера, относительно электродов. Кривые 1 и 2 получены при подаче напряжений 1,0 и 0,5 В, а кривые 5 и 4 — при напряжении –1,0 и –0,5 В соответственно. Зависимость 3 снята без подачи напряжения смещения и представляет собой кривую зависимости импульсной термоЭДС от координаты пятна лазера на поверхности пленки. Подача постоянного смещающего напряжения в схеме подключения пленки к измерительной системе позволяет увеличить амплитуду импульсов ЭДС. Кроме того, меняется характер зависимости, что обусловлено одновременным возникновением термо- и фотоЭДС в материале пленки.

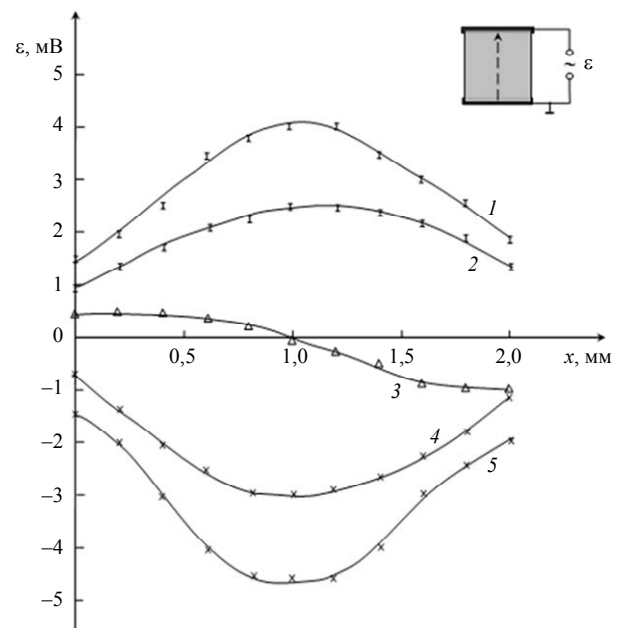


Рис. 1. Зависимость амплитуды  $\epsilon$  импульсной ЭДС от координаты при различном напряжении смещения на толстой Ag–Pd-пленке при облучении импульсами лазера: кривые 1, 5 — напряжение смещения +1,0 В и –1,0 В соответственно, 2, 4 — напряжение смещения +0,5 В и –0,5 В соответственно, 3 — без подачи напряжения смещения.

### Устройство для измерения мощности и частоты лазерных импульсов

В состав конструкции разработанного устройства для измерения мощности и частоты лазерных импульсов входит приемник лазерного излучения на основе чувствительного толсто пленочного Ag–Pd-элемента, на который подается излучение лазера. На противоположных краях чувствительного элемента приемника расположены пленочные металлические электроды, а к поверхности приемника подведены зондовые электроды.

Излучение лазера падает нормально к поверхности пленочного датчика. Пространственный заряд, возникающий в облучаемой части поверхности пленки, создает разность потенциалов на необлученной части и на краях этой поверхности. Разность потенциалов в виде сигнала ЭДС может сниматься как с помощью электродов, размещенных на краях пленки, так и с помощью зондовых электродов, подведенных к поверхности. При облучении поверхности чувствительного элемента импульсами лазера, следующими с определенной частотой, происходит колебательное перемещение носителей электрического заряда в облучаемой части поверхности и создаваемой этим зарядом разности потенциалов с частотой, соответствующей частоте импульсов лазера. Величина электрического сигнала на электродах при этом пропорциональна мощности импульсов лазера, а частота равна частоте лазерных импульсов.

Величина сигнала, снимаемого непосредственно с резистивной пленки, не превышает нескольких мкВ. Для осуществления регистрации электрический сигнал через усилитель подается на осциллограф. По амплитуде и частоте наблюдаемых сигналов определяется мощность и частота лазерных импульсов. Для увеличения чувствительности на электроды, расположенные на краях поверхности чувствительного элемента, подается постоянное напряжение 1,5 В, которое в чувствительном элементе создает внутренне электрическое поле, оказывающее действие на пространственный заряд в облучаемой части поверхности чувствительного элемента. За счет этого в чувст-

вительном элементе возникает ток пространственного заряда, который создает на электродах дополнительную по величине ЭДС.

Для датчика с размерами рабочей поверхности 6×6 мм чувствительность составила  $10^{-6}$  В·м<sup>2</sup>/МВт.

### Выводы

Толсто пленочные серебро-палладиевые структуры позволяют регистрировать отдельные импульсы лазерного излучения в результате возникновения в них ЭДС при облучении их импульсами лазера. Амплитуда и частота сигналов ЭДС зависят, соответственно, от мощности и частоты импульсов лазерного излучения. При этом механизмом проявления ЭДС является увлечение фотонами носителей заряда, генерируемых в поверхностном слое Ag–Pd-пленки, содержащей оксид палладия PdO, который является полупроводником *p*-типа.

Проведенные исследования указывают на возможность использования толсто пленочных Ag–Pd-резисторов в качестве датчиков для контроля параметров мощного импульсного излучения технологических лазеров.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимова И. Д., Викулин И. М., Заитов Ф. А. Полупроводниковые фотоприемники: Ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра. — М.: Радио и связь, 1984.
2. Кис Р. Дж., Крузе П. В., Патли Э. Г., Лонг Д., Цвикер Г. Р., Милтон А. Ф., Тейч М. К. Фотоприемники видимого и ИК-диапазонов. — М.: Радио и связь, 1985.
3. Хаяк Г. С., Куранов А. А., Чебыкин М. А. Промышленные изделия из благородных металлов и сплавов. Справочник. — М.: Металлургия, 1985.
4. Боднарь И. В., Рудь В. Ю., Рудь Ю. В. // Журнал прикладной спектроскопии. 2006. Т. 73. № 4. С. 502.
5. Александров В. А. // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. 2012. № 4. С. 18.
6. Александров В. А., Калюжный Д. Г., Александрович Е. В. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. Вып. 1. С. 88.
7. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников. — М.: Наука, 1978.
8. Зырянов П. С., Клиггер М. И. Квантовая теория явления электронного переноса в кристаллических полупроводниках. — М.: Наука, 1976.

## The possibility of using the thick Ag–Pd film for measuring the laser parameters

*D. G. Kalyuzhnyi, V. A. Alexandrov, and V. V. Besogonov*

Institute of Mechanics, Ural Branch, Russian Academy of Sciences  
34 T. Baramzinoi str., Izhevsk, 426067, Russia  
E-mail: ipm@udman.ru; ava@udman.ru

*Received March 22, 2016*

***Consideration is given to a experimental study of a surface thermo-EMF in the thick resistive Ag–Pd film bombarded by a laser beam. It is shown that the laser irradiated portion of the Ag–Pd film surface acquires a negative charge due to charge separation, due to the drag effect of charges thermal phonons, and their diffusion in the region of lower temperature. It is found that the amplitude and frequency of the EMF signal depend, respectively, on the power and frequency of laser pulses. A sensitive receiver element has been design for registration of laser radiation parameters.***

PACS: 85.60.Gz; 42.62.Cf

*Keywords:* fascination charges, phonons, resistive film, laser light, semiconductor.

### REFERENCES

1. I. D. Anisimov, I. M. Vikulin, and F. A. Zaitov, *Semiconductor Photodetectors: UV, Visible and Near Infrared Spectral Ranges* (Radio and Communications, Moscow, 1984) [in Russian].
2. R. J. Keyes, P. W. Kruse, D. Long, A. F. Milt, E. H. Putley, M. C. Teich, and H. R. Zwicker. *Optical and Infrared Detectors* (Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, 1980; Radio and Communications, Moscow, 1985).
3. G. S. Hayak, A. A. Kuranov, and M. A. Chebykin, *Industrial Products of Noble Metals and Alloys. Handbook* (Metallurgy, Moscow, 1985) [in Russian].
4. I. V. Bodnar, V. Yu. Rud, and Yu. V. Rud', *Zhurnal Prikladnoi Spektroskopii*. **73**, 502 (2006).
5. V. A. Alexandrov, *Vestnik Udmurt. Univers.. Fizika Khimiya*, No. 4, 18 (2012).
6. V. A. Aleksandrov, D. G. Kalyuzhnyi, and E. V. Aleksandrovich *Tech. Phys. Lett.* **39**, 88 (2013).
7. A. I. Anselm, *Introduction to the Theory of Semiconductors* (Nauka, Moscow, 1978) [in Russian].
8. P. S. Zyryanov and I. M. Klinger, *Quantum Theory of Electron Transport Phenomena in Crystalline Semiconductors* (Nauka, Moscow, 1976).