

07

Вихревой поверхностный ток в толстопленочном резисторе при воздействии лазером

© В.А. Александров, Д.Г. Калюжный, Р.Г. Зонов

Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск
E-mail: ava@udman.ru

Поступило в Редакцию 26 февраля 2010 г.

Обнаружены фотоэлектрический скин-эффект и возбуждение затухающего высокочастотного тока в толстопленочном серебро-палладиевом резисторе при воздействии импульсами лазера.

Известно, что в проводящих материалах при воздействии на их поверхность лазером наблюдаются фотоэлектрические явления, связанные с передачей импульса фотонов электронам проводимости в скин-слое облучаемой поверхности материала [1]. Размеры поверхности образца могут быть намного больше области воздействия пучка лазера, а его толщина — больше глубины скин-слоя. В связи с этим ток фотонного увлечения, возникающий при воздействии импульсов лазера на поверхность образца в виде пленки, может шунтироваться сопротивлением необлучаемой части пленки. Тогда проводящую пленку можно рассматривать как множество короткозамкнутых электрических контуров, которые при воздействии импульсом лазера на пленку могут создавать переменные магнитные поля. В связи с этим представляется возможным зарегистрировать ток фотонного увлечения в пленке с помощью близко расположенной катушки, в которой возникает ЭДС электромагнитной индукции. Так, токи в проводящей мишени, создаваемые импульсом лазера, были зафиксированы с помощью расположенной у края мишени индукционной катушки, ось которой располагалась перпендикулярно лучу лазера и параллельно облучаемой поверхности [2].

Ток фотонного увлечения при лазерном воздействии и возникающий при этом сигнал ЭДС, обусловленный поверхностным сопротивлением, проявляются в пленках как с металлической [3], так и с полуметал-

лической проводимостью [4,5]. Сигнал ЭДС, характерный для тока фотонного увлечения, нами обнаружен также при воздействии импульсами лазера на поверхность толсто пленочных серебро-палладиевых резисторов с удельным поверхностным сопротивлением $50 \Omega/\square$ [6]. Максимальная амплитуда фотоэлектрического сигнала в этих толсто пленочных резисторах достигается при углах падения импульсов лазера $\pm(50-60)^\circ$.

Серебро-палладиевые толсто пленочные резисторы изготавливаются из паст, содержащих в своем составе смесь порошков Ag_2O , Pd и стеклянной фритты. В результате физико-химических процессов при вжигании паст на керамическую основу в резисторах образуются проводящие перемычки из Pd и сплава Ag-Pd, которые и обеспечивают металлическую проводимость толсто пленочных резисторов [7]. В целом композиционный материал толсто пленочных серебро-палладиевых резисторов, содержащий диэлектрическую, полупроводниковую и металлическую фазы, по проводимости можно отнести к полуметаллам.

С целью обнаружения поверхностных токов, возникающих вследствие импульсного лазерного воздействия на поверхность толсто пленочных резисторов, мы провели эксперименты, в которых регистрация токов осуществлялась датчиком импульсного тока в виде плоской толсто пленочной катушки.

Для экспериментов были изготовлены толсто пленочные резистивные пленки на основе серебра и палладия из пасты ПР-100, предназначенной для изготовления резисторов с удельным поверхностным сопротивлением $100 \Omega/\square$. В состав пасты входят порошки в следующем соотношении: Ag_2O — 19.7 wt.%, Pd — 25.3 wt.%, стекло С-660а — 55 wt.%. Пленки размером $6 \times 6 \text{ mm}$ и толщиной $18-20 \mu\text{m}$ с сопротивлением 60Ω были получены на подложке из керамики ВК-94, на которой предварительно были сформированы толсто пленочные электроды из проводниковой пасты ПП-3: Ag — 72 wt.%, Pd — 20 wt.%, BiO — 3 wt.%, стекло С-660а — 5 wt.% (рис. 1, а). Электроды служат для измерения сопротивления пленок и фотоэлектрического сигнала при лазерном импульсном воздействии.

Датчик импульсного тока представляет собой плоскую толсто пленочную двухслойную катушку в виде соединенных в центре прямоугольных спиралей Архимеда, сформированную из проводниковой пасты ПП-3 на ситалловой подложке размером $15 \times 12 \times 0.5 \text{ mm}$

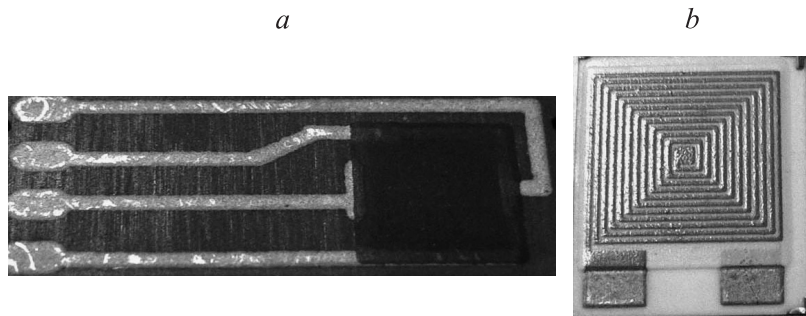


Рис. 1. Толсто пленочный резистор (*a*) и толсто пленочная катушка (*b*).

(рис. 1, *b*). Ширина проводников и расстояние между ними в спиралях составляет $250\ \mu\text{m}$, толсто пленочный изоляционный слой между спиралями — $30\ \mu\text{m}$. Сопротивление катушки составляет $50\ \Omega$, индуктивность — $2.8\ \text{mH}$. Преимуществом плоской катушки является ее чувствительность к поверхностным токам.

В экспериментах толсто пленочная катушка устанавливалась с обратной стороны подложки с резистором. Импульсы лазера с длиной волны $1.064\ \mu\text{m}$, энергией $20\ \text{mJ}$, длительностью $18\ \text{ns}$ и диаметром пучка $2\ \text{mm}$ направлялись на поверхность резистора под углом 45° . В результате, с одновременной регистрацией фотоэлектрического сигнала на электродах резистора (рис. 2, *a*) регистрировался и сигнал ЭДС индукции в толсто пленочной катушке (рис. 2, *b*). Форма сигнала ЭДС на катушке имеет вид затухающих колебаний определенной частоты, составляющей около $30\ \text{MHz}$. Такие же колебания, но менее выраженные, присутствуют и в фотоэлектрическом сигнале на электродах резистора. При воздействии импульсами лазера на поверхность резистора с противоположных краев резистора форма фотоэлектрического сигнала на электродах резистора не изменяется, сигнал ЭДС на катушке изменяет фазу на 180° , что свидетельствует об изменении направления вихревого поверхностного тока в резистивной пленке. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что наносекундный импульс лазера возбуждает в резистивной пленке высокочастотные токи мегагерцовой частоты.

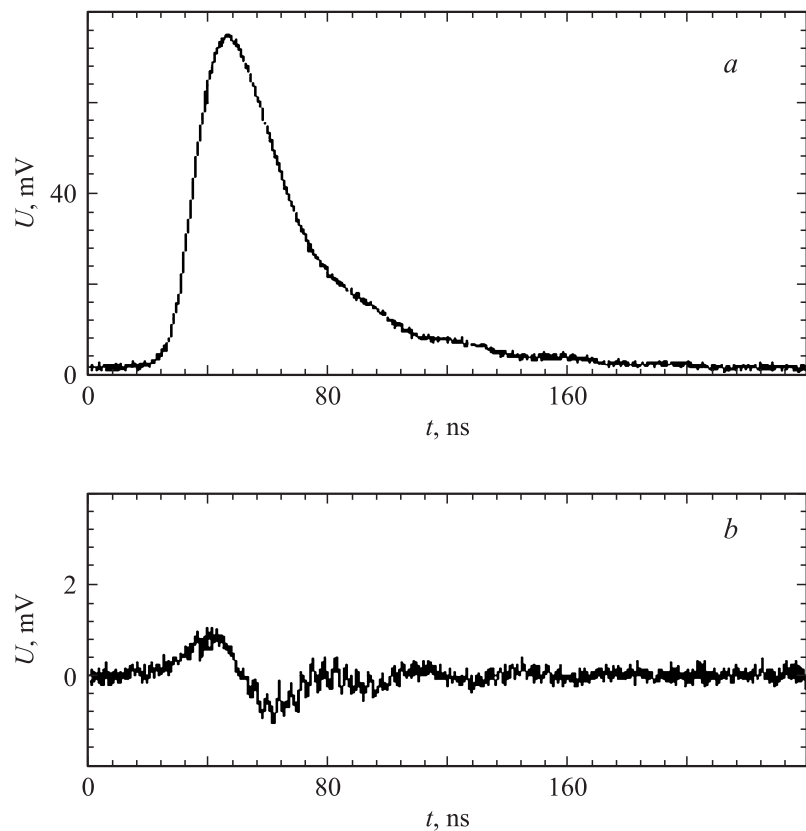


Рис. 2. Формы фотоэлектрического сигнала на электродах толстопленочного резистора (*a*) и сигнала ЭДС индукции в толстопленочной катушке (*b*).

Таким образом, нами обнаружены фотоэлектрический скин-эффект и возбуждение вихревого поверхностного тока в толстопленочном серебро-палладиевом резисторе с удельным поверхностным сопротивлением $100 \Omega/\square$ при воздействии импульсами лазера.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 10-02-96017).

Список литературы

- [1] Александров В.А. // ЖТФ. 2009. Т. 79. В. 3. С. 84–88.
- [2] Аскаръян Г.А., Рабинович М.С., Смирнова А.Д., Студенов В.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5. С. 116–118.
- [3] Конов В.И., Никитин П.И., Сатюков Д.Г., Углов С.А. // Изв. АН СССР. 1991. Т. 55. № 7. С. 1343–1347.
- [4] Берегулин Е.В., Валов П.М., Рывкин С.М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1977. Т. 25. В. 2. С. 113–116.
- [5] Михеев Г.М., Зонов Р.Г., Образцов А.Н., Свирко Ю.П. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 17. С. 88–94.
- [6] Михеев Г.М., Зонов Р.Г., Александров В.А., Русских Л.М. Оптоэлектрический преобразователь / Патент РФ на изобретение № 2365027. Бюл. № 23. 20.08.2009.
- [7] Смирнов В.И. Физико-химические основы технологии электронных средств: Учебн. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2005. Гл. 4. С. 93.