

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАПЫЛЕНИЯ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ НАНОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ИЗ ОКСИДОВ МЕДИ ПРИ ЛАЗЕРНОМ РАСПЫЛЕНИИ МЕДИ В АТМОСФЕРЕ ВОЗДУХА

Коваленко М.Н.<sup>1</sup>, Алексеенко Н.А.<sup>2</sup>, Рутковская Л.С.<sup>1</sup>,  
Патапович М.П.<sup>1</sup>, Чинь Н.Х.<sup>3</sup>, Зажогин А.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет (г. Минск, Беларусь)

<sup>2</sup> Институт порошковой металлургии им. академика О.В. Романа  
(г. Минск, Беларусь)

<sup>3</sup> Виньский университет (г. Винь, Вьетнам)

*E-mail:* [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)

Для создания датчиков контроля состава атмосферного воздуха большой интерес представляют такие материалы, как оксиды металлов, в частности оксиды меди CuO и Cu<sub>2</sub>O (с шириной запрещенной зоны 1.2 эВ и 2.1 эВ, соответственно). Преимуществами оксидов меди является их низкая стоимость и химическая стойкость. В литературе сообщалось о ряде методов синтеза материалов для разработки газовых датчиков с использованием полупроводниковых наноструктур *p*-CuO, легированных цинком, оловом, железом и т.д. таких как сольватермическое, термическое испарение, гидротермический и микроволновый гидротермальный синтез [1].

Разрабатываемый в данной работе альтернативный подход основан на использовании высокоинтенсивных сдвоенных лазерных импульсов для распыления (абляции) мишени из медного сплава М2 непосредственно в воздухе. Возникающий в этом случае относительно небольшой (порядка несколько мм) плазменный факел характеризуется высокой температурой, давлением, большой степенью ионизации элементов, поэтому он вполне способен обеспечить интенсивный поток частиц желаемой (высокой) энергии на близко расположенную подложку.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Лазер обладает широкими возможностями как для регулировки энергии импульсов (до 80 мДж), так и временного сдвига между сдвоенными импульсами (0–100 мкс) излучения. Частота импульсов 10 Гц, средняя длительность импульса 15 нс.

Исследована динамика процессов образования атомов и ионов Cu при воздействии серий последовательных сдвоенных лазерных импульсов на пластинки из сплава меди М2 энергии (20–60 мДж) и интервала между импульсами (0–20 мкс).

Результаты исследований по зависимости интенсивности линии атомов Cu от энергии и интервала между импульсами представлены на рисунке 1, *а*. Количество импульсов в серии 50.

Результаты исследований по зависимости интенсивности линии атомов Cu (522,0 нм) количества импульсов для различных углов воздействия лазерных импульсов на мишень приведены на рисунке 1, *б*. Толщина медной пластинки

0,23 мм. Изменяя толщину пластинки и количество лазерных импульсов в серии возможно целенаправленно менять состав прекурсоров для изготовления тех или иных нанопленок.

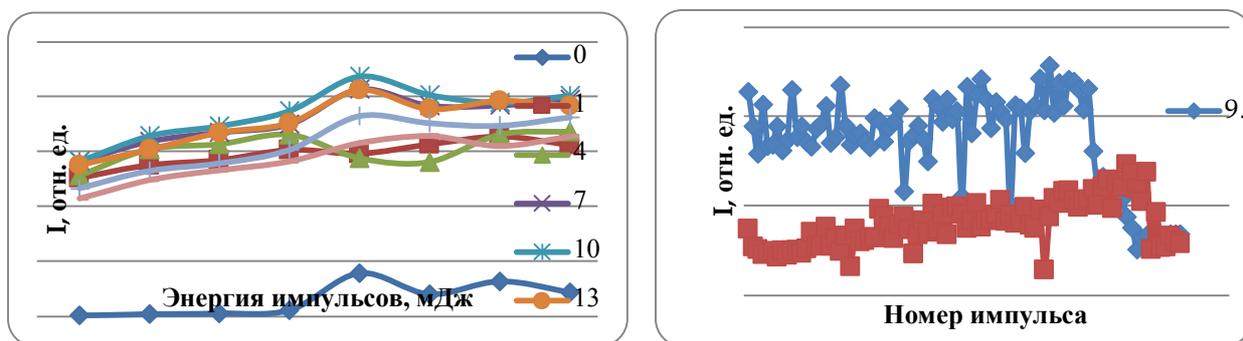


Рисунок 1. Зависимость интенсивности линий Cu:  
*a* – от энергии и интервала между импульсами: *б* – для углов 90° и 70°

Используя полученные выше результаты, мы провели исследования процессов напыления нанопленок. Напыление на поверхность фольгированного стеклотекстолита, с вытравленными полосками, наночастиц оксидов меди проводилось при воздействии серии из 150 двоянных лазерных импульсов на мишень из сплава меди М2 (толщина 1 мм) установленную под углом 70 градусов к падающему излучению и подложке на расстоянии 3 мм. Энергия импульсов излучения 53 мДж, интервал между импульсами 10 мкс.

Изображения поверхности мишени с напыленными пленками, полученные с помощью микроскопа Webbers, увеличение 50 раз, приведены на рисунке 2, *a* и 2, *б*. Размер кадра 2 мм. Изображения поверхности стекла с нанесенными пленками 3 сериями по 150 лазерных импульсов, увеличенные с помощью микроскопа Биолам в 375 раз, приведены на рисунке 2, *в*.

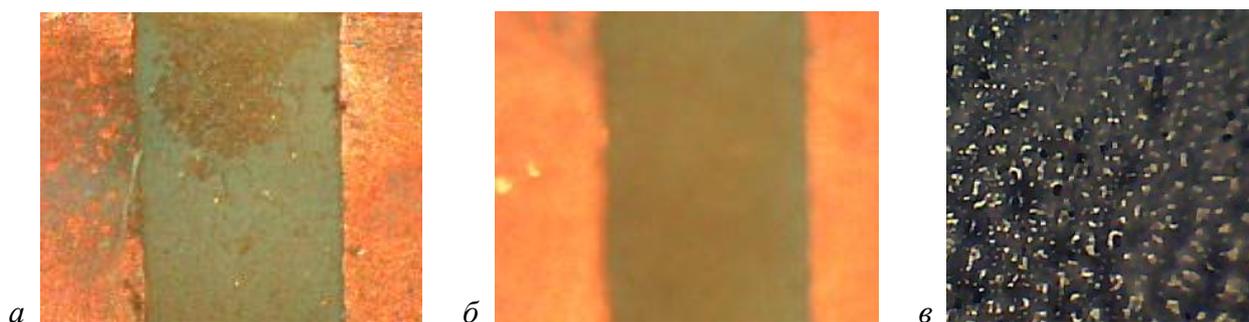


Рисунок 2. Изображение поверхности мишени после напыления оксидов меди сериями двоянных лазерных импульсов: *a* – 150 импульсов; *б* – 3×250 импульсов, *в* – напыление на стекле, увеличение 375 раз

Из анализа снимков видно, что использование только 150 импульсов не обеспечивает хорошего качества пленки. Необходимо использовать порядка

3 напылений по 150 импульсов с небольшим перекрытием пятен на мишени. На рисунке 2, в – черная пленка – оксид меди CuO, средний размер шариков составляет примерно 1–2 мкм. Островки CuO состоят из кристаллитов размеров 20–30 нм.

Начальное сопротивление пленки – более 200 Мом, при комнатной температуре. Пленка хорошо реагирует на пары NH<sub>3</sub>.

---

1. Обвинцева Л.А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде // Рос. хим. журнал. 2008. Т. LI, № 2. С. 110–118.