

Литература

1. Zinc oxide from fundamental properties towards novel applications / C. F. Klingshirn, B. K. Meyer, A. Waag, A. Hoffmann, J. Geurts – Springer: Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 359 p.
2. Yu Ruei-Sung Synthesis and Characteristics of Zn-Doped CuCrO₂ Transparent Conductive Thin Films / Yu Ruei-Sung, Chu Chen // Coatings. – 2019. – Vol 9, № 5. – P. 321.
3. Solution Combustion Synthesis of Transparent Conducting Thin Films for Sustainable Photovoltaic Applications/ U Sana [et.al] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – P. 10423.
4. Özgür, Ü. A comprehensive review of ZnO materials and devices / Ü. Özgür, Ya. I. Alivov, C. Liu et al. // J. Appl. Phys, 2005. – Vol. 98. – P.1–103.

Д. В. Швецов, С. Н. Анучин
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **Н. Г. Валько**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОЧАСТИЦ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Области применения наночастиц в настоящее время чрезвычайно широки – материаловедение; биотехнологии; полупроводники; сверхёмкие магнитные носители; химические нанокатализаторы, наносорбенты, нанооптоэлектроника и многое другое. Их широкое применение и использование в различных сферах производственной деятельности и науке связано, с главным образом, с уникальными свойствами наночастиц, обусловленными размерными эффектами, высокой оптической нелинейностью и явлением плазмонного резонанса. Наличие этих специфических свойств и особенностей служит основой для более детального исследования наноразмерных структур. При этом, актуальной задачей является получение и исследование наночастиц различных металлов, позволяющих модифицировать их свойства и создавать новые композитные материалы и сплавы с улучшенными эксплуатационными характеристиками [1, 2].

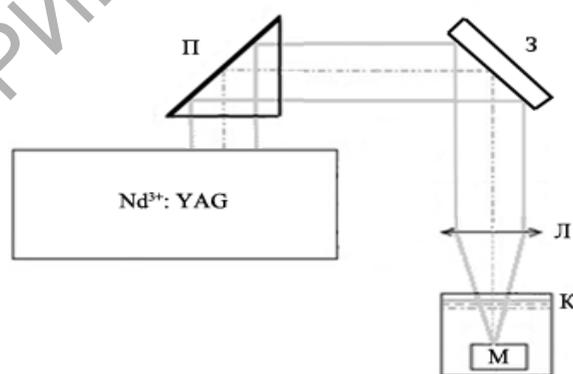
Объектами исследования являлись образцы гальванических сплавов цветных металлов (цинк, медь, кобальт). Степень чистоты металлов исследовалась на спектрометре энергий рентгеновского излуче-

ния СЕР-01 «ElvaX», согласно методике МВИ.МН 4092-2011. Результаты представлены в таблице 1. Как видно из таблицы концентрация исследуемых металлов в сплаве цинка составила 96,614 % (Zn), в образце сплава меди – 99,494 % (Cu), а в образце сплава кобальта – 99,897 % (Co).

Таблица 1 – Концентрация и элементный состав примесей в образцах исследуемых сплавов

Zn сплав			Cu сплав			Co сплав		
Ат. номер	Эл-т	Концентрация, %	Ат. номер	Эл-т	Концентрация, %	Ат. номер	Эл-т	Концентрация, %
23	V	0,062	23	V	0,506	23	V	0,103
29	Cu	3,278	29	Cu	99,494	27	Co	99,897
30	Zn	96,614						
82	Pb	0,046						

Получение наночастиц цветных металлов проводилось на экспериментальной установке с использованием Nd³⁺:YAG-лазера методом лазерной абляции в дистиллированной воде (рисунок 1). Образцы помещались в стеклянную кювету с дистиллированной водой объемом 20 мл. Лазерный пучок (длина волны 1064 нм, энергия в импульсе ~300 мДж, частота следования импульсов 10 Гц) фокусировался длиннофокусной линзой (F=614 мм) на поверхность мишени в жидкости. Нарботка наночастиц проводилась в течение 15 минут.



Nd³⁺:YAG – лазер (Lotis LS-2147); П – поворотная призма; З – зеркало; Л – фокусирующая линза (f=614 мм); К – кювета с дистиллированной водой; М – мишень (металл)

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для получения наночастиц методом лазерной абляции в жидкости

Спектры поглощения полученных коллоидных растворов наночастиц цветных металлов измерялись на спектрометре Specord 200. Наночастицы осаждались на подложки из борсиликатного стекла из коллоидных растворов. Исследования морфологии поверхности и размерных параметров наночастиц цветных металлов проводились на атомно-силовом микроскопе NT-206 [2].

На рисунке 2 представлены спектры поглощения и изображение атомно-силовой микроскопии (АСМ) наночастиц цинка, осаждённых из коллоидного раствора наночастиц при лазерной абляции его гальванического сплава.

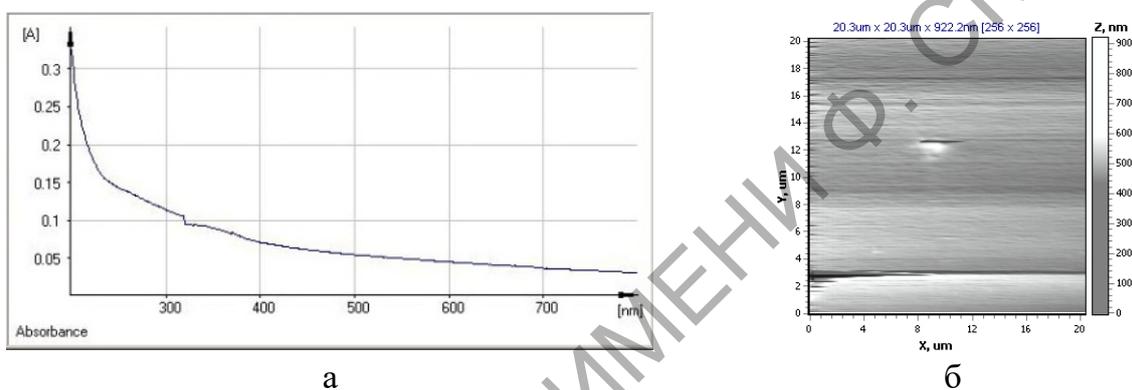
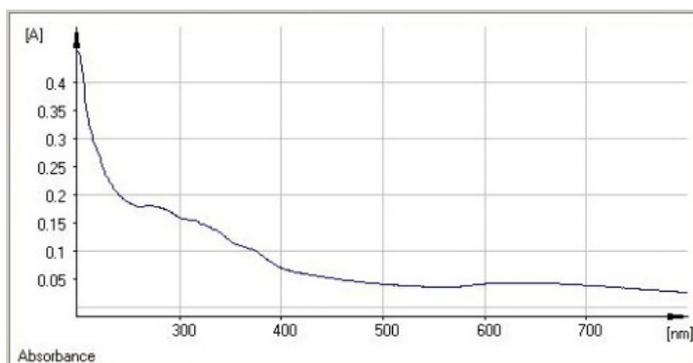


Рисунок 2 – Спектр поглощения (а) и АСМ изображение поверхности цинкового покрытия (б)

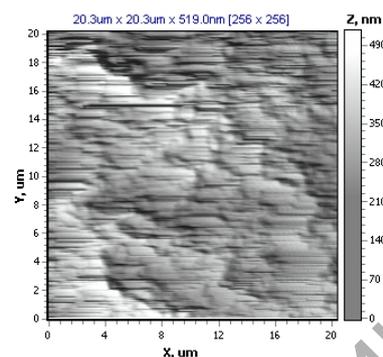
Из рисунка 2 а) видно, что спектр поглощения коллоидного раствора является достаточно широким и содержит слабовыраженный максимум в области 320–390 нм. Оптическая плотность раствора равнялась 0,09D, что соответствует концентрации $\sim 0,09 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³. При этом раствор имеет желтоватый оттенок.

Анализ АСМ изображения (рисунок 2 б) показывает, что полученное покрытие является достаточно равномерным, без выраженной структуризации и образовано мелкими нитевидными наночастицами размером 25–35 нм. На рисунке виден также единственный пирамидальный конгломерат с размерами $\sim 1 \times 0,5$ мкм по основанию и высотой до 900 нм.

На рисунке 3 представлены спектры поглощения и АСМ изображение наночастиц меди, осаждённых из коллоидного раствора наночастиц при лазерной абляции её гальванического сплава.



а



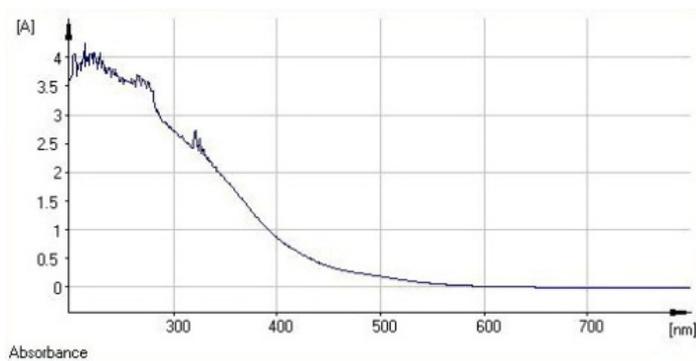
б

Рисунок 3 – а) Спектр поглощения и б) АСМ изображение поверхности медного покрытия

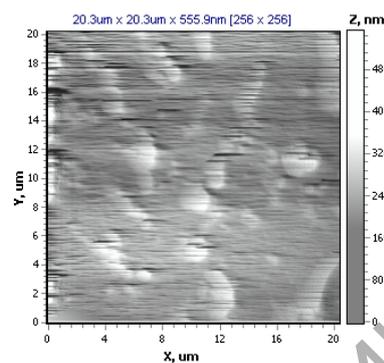
Из рисунка 3 а) видно, что спектр поглощения коллоидного раствора имеет два широких максимума: первый, в УФ и фиолетовой ($\Delta\lambda = 270-390$ нм) и второй – в оранжево-красной ($\Delta\lambda = 590-750$ нм) областях спектра. Оптическая плотность раствора наночастиц меди соответствовала $\approx 0,05-0,17D$, что равняется концентрации $\sim 0,05-1,7 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³. Цвет раствора – жёлтый. Как известно из [3], для наночастиц существует зависимость оптической плотности раствора от размеров наночастиц. При наличии в растворе наиболее мелких изолированных наночастиц, спектр поглощения характеризуется узкой и интенсивной полосой поглощения. Увеличение размеров наночастиц сопровождается длинноволновым сдвигом и расширением основной полосы поглощения. Следовательно, большой разброс размеров полученных наночастиц меди обуславливает их широкую полосу поглощения и низкую интенсивность спектра (рисунок 3 а).

Наблюдаемая на рисунке 3 б) морфология поверхности меди имеет столбчатую структуру, состоящую из крупных агрегированных конгломератов, расположенных под углом к поверхности. Размеры образовавшихся структур (кристаллитов) составляют $\sim 2 \times 0,9$ мкм по основанию и до 450 нм по высоте. Размеры обособленных наночастиц составляют $\sim 44-55$ нм.

На рисунке 4 представлены АСМ изображение наночастиц кобальта, осаждённого из коллоидного раствора наночастиц при лазерной абляции его гальванического сплава.



а



б

Рисунок 4 – а) Спектр поглощения и б) АСМ изображение поверхности кобальтового покрытия

Как видно из рисунка 4 а), спектр поглощения коллоидного раствора имеет два максимума в ультрафиолетовой области спектра: первый, немного уширенный ($\Delta\lambda = 260-270$ нм), и второй – узкий ($\lambda = 310$ нм). Оптическая плотность раствора наночастиц кобальта находится в диапазоне $\approx 2,7-3,6D$, что соответствует концентрации $\sim 2,7-3,6 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³. При этом раствор имеет желтоватый оттенок. Максимум поглощения в области 190–200 нм соответствует поглощению кварцевой кюветы спектрометра. Высокая оптическая плотность раствора кобальта при тех же условиях лазерной абляции обусловлена, вероятно, физико-химическими свойствами металла.

Представленная на рисунке 4 б) поверхность содержит упорядоченные продолговатые конгломераты, образованные из наноструктур пирамидальной формы разной степени агрегации. Размеры наблюдаемых конгломератов равны $3 \times 1,5$ мкм по основанию и до 500 нм по высоте. Размеры обособленных наночастиц составляют $\sim 30-40$ нм.

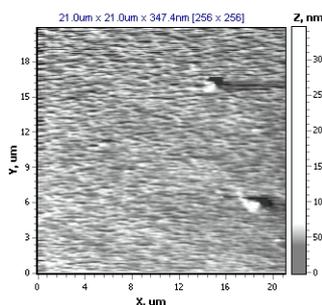


Рисунок 5 – АСМ снимок стеклянной подложки без покрытия

Для сравнения на рисунке 5 приведен АСМ снимок чистой подложки. Наблюдаемые две относительно крупные частицы являются инородными телами (пыль). Как видно, морфология поверхности до-

статочно однородная, без выраженных перепадов. Зернистость структуры обусловлена, вероятно, остаточной шероховатостью поверхности после полировки.

Отличие оптической плотности растворов наночастиц различных металлов, по-видимому, связано с различием их физико-химических свойств, а также коэффициентов отражения металлических образцов при абляции. Выяснено что большой разброс размеров полученных наночастиц меди обуславливает их широкую полосу поглощения и низкую интенсивность спектра.

Литература

1. Иванов, А. М. Получение наночастиц при лазерной абляции металлических поверхностей в жидкости и исследование полученных структур оптическими методами / А. М. Иванов, Н. А. Мыслицкая, М. С. Капелевич // Изв. КГТУ. – 2011. – № 23. – С. 18–24.

2. Ануфрик, С. С. Морфология поверхностных наноструктур цветных металлов, осажденных из растворов аблированных наночастиц / С. С. Ануфрик, С. Н. Анучин, И. Г. Сергиенко // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 1. – С. 59–65.

3. Li, W. R. Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles on Escherichia coli. / W. R. Li [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. – 2010. – Vol.85, Issue.4. – 1115–22.

А. Н. Шклярва^{1,2}, М. Н. Стародубцева^{1,3}

(¹Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель;

²ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель;

³ГГМУ, Гомель)

Науч. рук. **Д. Л. Коваленко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТИ КЛЕТОК РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, ОЦЕНИВАЕМЫЕ ПО ДАННЫМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ В РЕЖИМЕ FORCE VOLUME

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) – это современный метод, который используется для определения механических свойств материалов и биоматериалов. В процессе индентирования поверхности материала наноразмерным остриём зонда АСМ записываются сило-