

УДК 544.032

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕДИ И НИКЕЛЯ ДО И ПОСЛЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ 673 К**

Максимова Д.А., студент гр. Х-131, IV курс,  
Бин С.В., к.х.н, ведущий инженер

Научный руководитель: Суrowой Э.П., д.х.н., профессор, зав. кафедрой  
Кемеровский государственный университет  
г. Кемерово

В последнее десятилетие в различных областях науки и техники отмечается широкое применение ультратонких металлических пленок и многослойных пленочных структур наноразмерной толщины. В химии же осуществляется переход на исследование нано- и субнанометровых систем, свойства которых кардинально отличаются от свойств макросистем такого же химического состава. Интерес к данной области связан с тем, что указанные объекты обладают рядом уникальных свойств, нехарактерных для материалов в массивном состоянии, что вызывает большой интерес к ним со стороны как ученых и исследователей, так и разработчиков аппаратуры [1].

Медь среди важнейших металлов для современной промышленности занимает особое место. Медь и её соединения активно используются в разных отраслях индустрии: текстильной, машиностроительной, авиационной и электротехнической. Изучение природы и закономерностей процессов, протекающих в меди и на ее поверхности при тепловом воздействии, представляется необходимым как для решения группы научных задач, так и в связи с необходимостью разработки принципиально новых материалов для полупроводниковой микроэлектроники [2].

Никель и соединения на его основе благодаря комплексу положительных свойств (коррозионная стойкость, высокая пластичность, химическая пассивность, жаростойкость, прочность и др.) применяется во многих областях науки, техники, промышленности. В качестве токоведущих элементов и омических контактов никель широко используется в электронике. Пленки никеля применяют для изготовления фоторегистрирующих устройств и солнечных батарей. Композитные системы на основе однородной диамагнитной матрицы, содержащей магнитные наночастицы никеля, являются перспективными материалами для приложений в магнитоэлектронике, систем хранения информации [3,4].

В работе представлены результаты исследований оптических свойств наноразмерных пленок меди (толщиной 35, 33нм), никеля (толщиной 5, 20, 25 нм) и систем на их основе до и после теплового воздействия при температуре 673 К в зависимости от времени тепловой обработки.

Наноразмерные пленки меди, никеля получали методом термического испарения в вакууме соответствующих порошков металлов, осаждая их на стеклянные подложки, используя вакуумный универсальный пост «ВУП – 5М» при остаточном давлении газов в вакуумной камере  $2 \cdot 10^{-3}$  Па. Двухслойные системы получали последовательным осаждением пленок никеля на пленки меди (предварительно нанесенных на подложки из стекла), а также осаждением пленок меди на пленки никеля (предварительно нанесенных на подложки из стекла). Подложками служили стекла от фотопластинок ГОСТ 9284-59, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [3]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 - 1100 нм. Толщину пленок меди и никеля определяли спектрофотометрическим методом. Образцы подвергали термической обработке в программно-управляемой муфельной печи «МИМП - 3П» при температуре 673 К. Спектры поглощения и отражения образцов регистрировали на спектрофотометре «Shimadzu UV - 1700» в диапазоне 190 - 1100 нм.

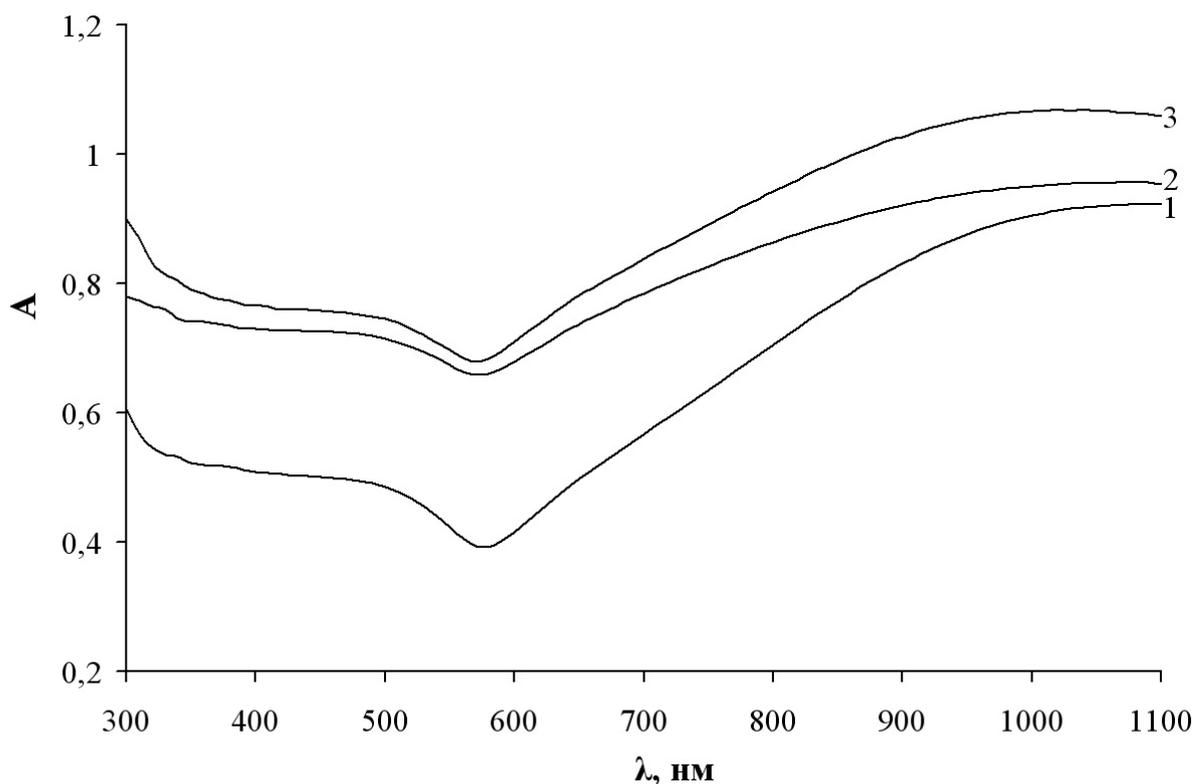


Рис. 1. Спектры поглощения наноразмерных систем Cu – Ni толщиной:  
1)  $d(\text{Cu}) = 35$  нм,  $d(\text{Ni}) = 5$  нм; 2)  $d(\text{Cu}) = 33$  нм,  $d(\text{Ni}) = 25$  нм;  
системы Ni – Cu толщиной: 3)  $d(\text{Ni}) = 20$  нм,  $d(\text{Cu}) = 35$  нм

В данной работе и ранее [3, 5] установлено, что оптические свойства наноразмерных пленок меди и никеля в значительной степени зависят от их толщины. По мере увеличения толщины пленок меди, никеля оптическая

плотность и отражательная способность образцов в исследуемом спектральном диапазоне возрастает.

Установлено, что спектры поглощения и отражения систем Cu - Ni, Ni - Cu до термической обработки в значительной степени зависят от толщины каждого из слоев меди и никеля. На рис. 1 в качестве примера приведены спектры поглощения систем Cu - Ni, Ni - Cu с различной толщиной подслоев до термической обработки. Видно, что на спектрах поглощения систем независимо от последовательности нанесенных слоев проявляются полосы поглощения индивидуальных пленок меди, в частности, наблюдается ярко выраженный минимум поглощения при  $\lambda = 570...580$  нм.

Для выяснения возможного взаимодействия между пленками меди и никеля в процессе приготовления систем Cu - Ni, Ni - Cu были сопоставлены экспериментальные спектры поглощения систем с рассчитанными спектрами поглощения, полученными суммированием при каждой длине волны значений оптической плотности индивидуальных пленок меди и никеля аналогичной толщины. Рассчитанные и экспериментальные спектры поглощения исследованных систем Cu - Ni не совпадают.

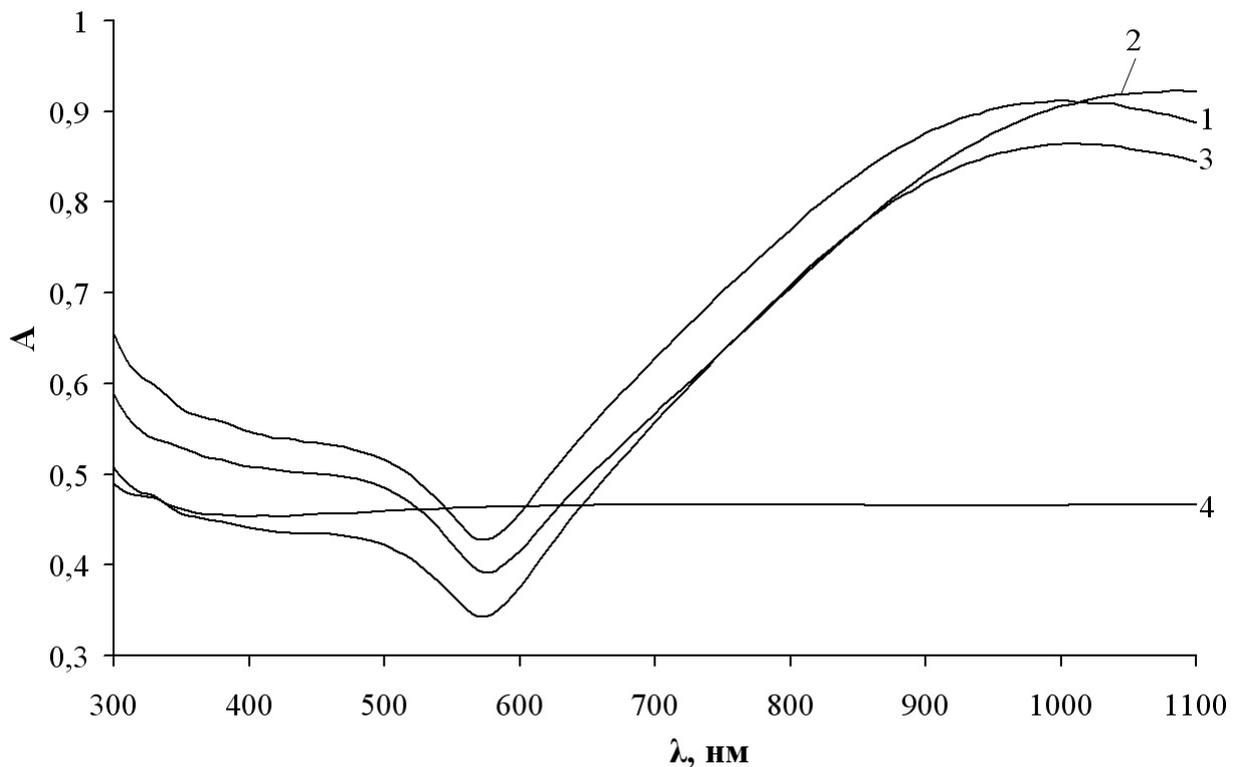


Рис. 2. Спектры поглощения наноразмерных пленок Cu ( $d = 35$  нм) (3), Ni ( $d=20$  нм) (4) и системы Cu – Ni (2 – экспериментальный), Cu – Ni (1 – рассчитанный) до термического воздействия

На рис. 2 в качестве примера приведены экспериментальные спектры поглощения пленок меди, никеля, системы Cu - Ni и рассчитанный спектр поглощения системы Cu - Ni. Значения оптической плотности

экспериментальной кривой меньше значений оптической плотности рассчитанной кривой системы Cu - Ni.

В результате тепловой обработки наноразмерных пленок никеля наблюдается существенное уменьшение значений оптической плотности и отражательной способности. С уменьшением оптической плотности в интервале  $\lambda = 320...1100$  нм формируется спектр поглощения нового вещества в диапазоне  $\lambda = 300...320$  нм. Оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества, оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при  $\lambda \approx 350$  нм, составляет  $E \approx 3,5$  эВ. Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида никеля (II) [3].

Термическая обработка наноразмерных пленок меди приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения и отражения образцов. Так с уменьшением оптической плотности образца в исследуемом диапазоне длин волн формируется спектр поглощения нового вещества. Исходя из значения длинноволнового порога поглощения, который находится при  $\lambda=560-570$  нм, установлено, что оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет  $E=2,17-2,21$  эВ.

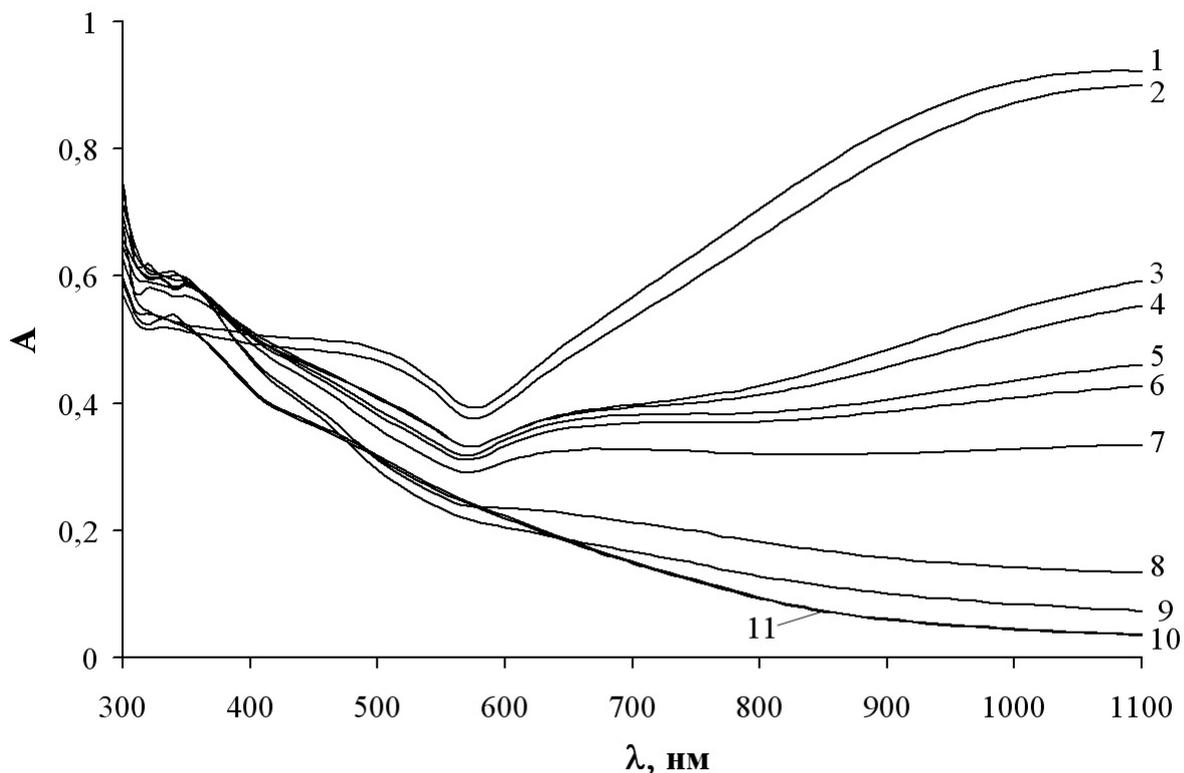


Рис. 3. Спектры поглощения наноразмерной системы Cu - Ni ( $d(\text{Cu}) = 35$  нм,  $d(\text{Ni}) = 5$  нм) до (1) и после термического воздействия при 673 К: 2 - 5; 3 - 30; 4 - 90; 5 - 170; 6 - 240; 7 - 340; 8 - 460; 9-620; 10-820; 11-1620 секунд

На основании этого предположено, что при термической обработке пленок меди при исследуемых толщинах исходных пленок меди основным

продуктом взаимодействия их с ингредиентами окружающей среды является оксид меди (I) (ширина запрещенной зоны  $\approx 2$  эВ) [5].

При термической обработке наноразмерных систем Cu - Ni спектры поглощения и отражения претерпевают сильные изменения. Причем, наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также предельные значения оптической плотности после термической обработки образцов зависят от первоначальной толщины пленок меди и никеля, времени теплового воздействия. По мере уменьшения толщины наноразмерных пленок меди и никеля при термообработке систем Cu - Ni ( $T = 673$  К) наблюдается увеличение эффектов изменения оптической плотности и уменьшение времени достижения ее предельного значения. На рис. 3 для примера приведены спектры поглощения системы Cu - Ni в процессе теплового воздействия. Видно, что по мере увеличения времени теплового воздействия оптическая плотность существенно уменьшается в интервале  $\lambda = 360 \dots 1100$  нм и увеличивается в диапазоне  $\lambda = 300 \dots 360$  нм.

### Список литературы:

1. Логунов, А.Е. Оптические методы исследования металлических наночастиц на поверхности прозрачных диэлектриков [Текст]: автореферат на соискание ученой степени канд. физ-мат. наук: 01.04.05. / А.Е. Логунов. - Санкт-Петербург, 2009. - 22 с.
2. Медь [Текст] / В.Н. Подчайнова, Л.Н. Симонова. - М.: Наука, 1990. - 279 с. (Аналитическая химия элементов). - ISBN 5-02-001316-1.
3. Surovoi, E.P. Bugerko L.N., Surovaya V.E., Bin S.V. Kinetic Laws of Thermal Transformations in Nickel Nanofilms [Текст] // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, V. 88, № 12, P. 2172-2178.
4. Перельман, Ф.М., Зворыкин, А.Я. Кобальт и никель [Текст] / Ф.М. Перельман, А.Я. Зворыкин. - М.: Наука, 1975. - 215 с.
5. Титов, И.В. Исследование процесса окисления наноразмерных слоев меди [Текст]: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04-физическая химия / Илья Вячеславович Титов. - Кемерово: Кемеров. гос. ун-т, 2006. - 118 с.