

УДК 544.032

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ХРОМА И НИКЕЛЯ ДО И ПОСЛЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ 673 К

Бин С.В.<sup>1</sup>, к.х.н, ведущий инженер, Смирнова А.А.<sup>1</sup>,  
студент гр. Х-121, IV курс, Суровая В.Э.<sup>2</sup>, к.х.н, ст.преподаватель  
Научный руководитель: Суровой Э.П., д.х.н., профессор, заведующий  
кафедрой

<sup>1</sup>Кемеровский государственный университет

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
Кемерово

В настоящее время в различных областях науки и техники широкое применение находят ультратонкие металлические пленки и многослойные пленочные структуры наноразмерной толщины. Это связано 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. Хром и его соединения активно используются в металлургии, химической, огнеупорной промышленности, является важным компонентом во многих легированных сталях (в частности, нержавеющей), а также и в ряде других сплавов. Хром широко применяется для хромирования изделий, используется в качестве декоративных, коррозионно-стойких покрытий. Хром не только отличается большой твердостью, но и хорошо сопротивляется окислению на воздухе, не взаимодействует с кислотами [1, 2]. Никель является основой большинства суперсплавов – жаропрочных материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности для деталей силовых установок. Из чистого никеля изготавливаются различные аппараты, приборы, котлы и тигли с высокой коррозионной стойкостью и постоянством физических свойств. Особое значение имеют никелевые материалы в изготовлении резервуаров и цистерн для хранения в них пищевых продуктов, химических реагентов. 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 диаманитной матрицы, содержащей магнитные наночастицы никеля, являются перспективными материалами для приложений в магнитоэлектронике, систем хранения информации [3 – 5].

В работе представлены результаты исследований оптических свойств наноразмерных пленок хрома (толщиной 2, 6, 75 нм), никеля (толщиной 3, 14, 37 нм) и систем на их основе до и после теплового воздействия при температуре 673 К в зависимости от времени тепловой обработки.

Наноразмерные пленки хрома, 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 хрома (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 [2, 4]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину пленок хрома 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 [2, 4].

В данной работе и ранее [2, 4] установлено, что оптические свойства наноразмерных пленок хрома и никеля в значительной степени зависят от их толщины. По мере увеличения толщины пленок хрома, никеля оптическая плотность и отражательная способность образцов в исследуемом спектральном диапазоне возрастает. Установлено, что спектры поглощения и отражения систем Cr – Ni до термической обработки в значительной степени зависят от толщины каждого из слоев хрома и никеля. При этом на спектрах поглощения систем проявляются полосы поглощения индивидуальных пленок Cr и Ni. На рис. 1 в качестве примера приведены спектры поглощения систем Cr – Ni с различной толщиной подслоев до термической обработки.

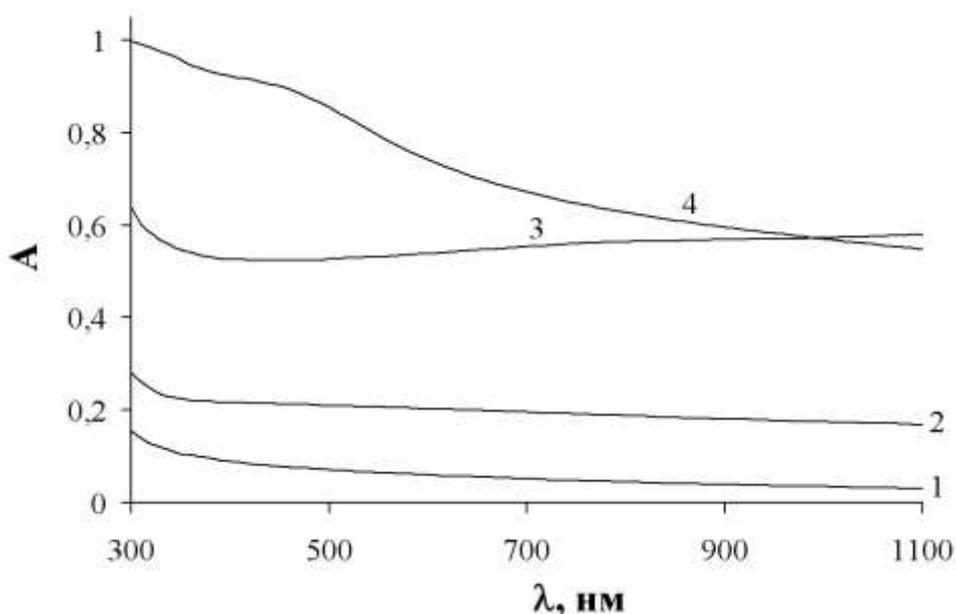


Рис. 1. Спектры поглощения наноразмерных систем Cr – Ni толщиной:  
1)  $d(\text{Cr}) = 2$  нм,  $d(\text{Ni}) = 3$  нм; 2)  $d(\text{Cr}) = 2$  нм,  $d(\text{Ni}) = 14$  нм;  
3)  $d(\text{Cr}) = 6$  нм,  $d(\text{Ni}) = 37$  нм; 4)  $d(\text{Cr}) = 75$  нм,  $d(\text{Ni}) = 3$  нм

В коротковолновой области спектра  $\lambda = 300 \dots 500$  нм (рис. 1, кривые 1-3) в большей степени проявляются полосы поглощения пленок никеля [4], что видимо, связано со значительно большей толщиной пленок никеля по сравнению с толщиной пленок хрома. С увеличением толщины пленок хрома до 75 нм (рис. 1, кривые 1, 4) преобладают полосы поглощения пленок хрома [2]. В длинноволновой области спектра  $\lambda = 500 \text{--} 1100$  нм проявляются широкие полосы поглощения как пленок хрома [2], так и пленок никеля [4].

Для выяснения возможного взаимодействия между пленками хрома и никеля в процессе приготовления систем Cr – Ni были сопоставлены экспериментальные спектры поглощения систем с рассчитанными спектрами поглощения, полученными суммированием при каждой длине волны значений оптической плотности индивидуальных пленок хрома и никеля аналогичной толщины. Рассчитанные и экспериментальные спектры поглощения исследованных систем Cr – Ni не совпадают. На рис. 2 в качестве примера приведены экспериментальные спектры поглощения пленок хрома, никеля, системы Cr – Ni и рассчитанный спектр поглощения системы Cr – Ni. На экспериментальных кривых в диапазонах от  $\lambda = 300\text{--}450$  нм и от  $\lambda = 300\text{--}850$  нм наблюдается уменьшение оптической плотности систем и увеличение оптической плотности в диапазонах от  $\lambda = 450\text{--}1100$  нм и от  $\lambda = 850\text{--}1100$  нм, соответственно.

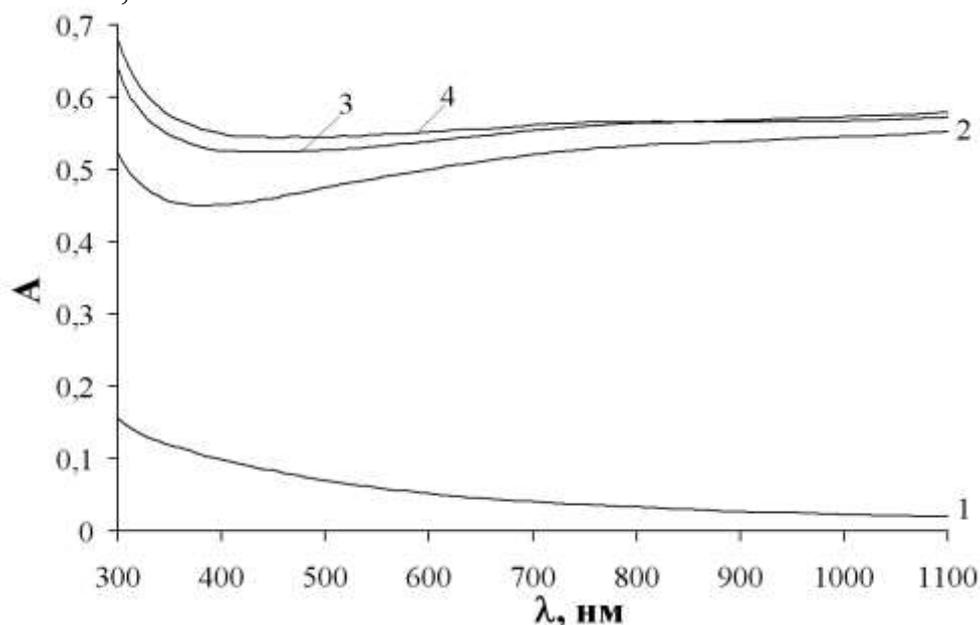


Рис. 2. Спектры поглощения наноразмерных пленок Cr ( $d = 6$  нм) (1), Ni ( $d=37$  нм) (2) и системы Cr – Ni (3 – экспериментальный), Cr – Ni (4 – рассчитанный) до термического воздействия

Термическая обработка наноразмерных пленок хрома 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. Оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при  $\lambda \approx 268$  нм,

оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет  $E \approx 4,6$  эВ. Полученное значение удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида хрома (III). По мере увеличения толщины пленок хрома при постоянной температуре 673 К наблюдается уменьшение эффектов изменения оптической плотности во всем исследуемом длин волн [2].

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. Оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при  $\lambda \approx 350$  нм, оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет  $E \approx 3,5$  эВ. Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида никеля (II) [4].

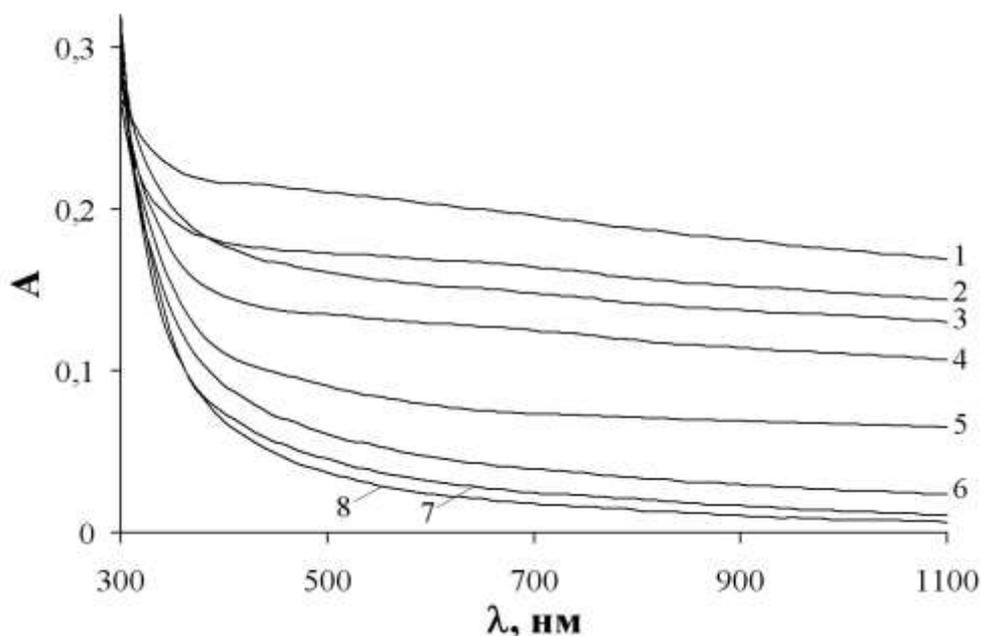


Рис. 3. Спектры поглощения наноразмерной системы Cr – Ni ( $d(\text{Cr}) = 2$  нм,  $d(\text{Ni}) = 14$  нм) до (1) и после термического воздействия при 673 К: 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 2; 5 – 4; 6 – 7; 7 – 10; 8 – 15 мин

При термической обработке наноразмерных систем Cr – 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 хрома и никеля, времени теплового воздействия. По мере уменьшения толщины наноразмерных пленок хрома и никеля при термообработке систем Cr – 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 Cr – Ni в

процессе теплового воздействия. Видно, что по мере увеличения времени теплового воздействия оптическая плотность существенно уменьшается в интервале  $\lambda = 330 \dots 1100$  нм и увеличивается в диапазоне  $\lambda = 300 \dots 320$  нм.

### Список литературы

1. Лаврухина А.К., Л.В. Юкина Аналитическая химия хрома. М.: Наука, 1979. 218 с.
2. Surovoi E.P., Zaikonnikova T. M. Kinetics of Thermal Transformations in Nanosized Chromium Films // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, V. 88, № 1, P. 112-117.
3. Перельман, Ф.М., Зворыкин А.Я. Кобальт и никель. М.: Наука, 1975. 215 с.
4. Surovoi E.P. Bugerko L.N., Surovaya V.E., Bin S.V. Kinetic Laws of Thermal Transformations in Nickel Nanofilms // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, V. 88, № 12, P. 2172-2178.
5. Степанов А.Л. Синтез и измерения магнитных свойств наночастиц никеля во фториде магния // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. вып. 4. С. 49-54.