

Рис. 2. Спектры поглощения пленки Cd ( $d=94$  нм) до и после теплового воздействия К: 0 мин(1), 0,5мин (2), 5мин(3), 10мин(4), 15мин(5), 30мин (6), 40мин(7), 50мин(8), 60мин(9), 80мин(10), 100мин(11), 130мин(12), 190мин(13), 255мин(14), 420мин(15), 600мин(16)

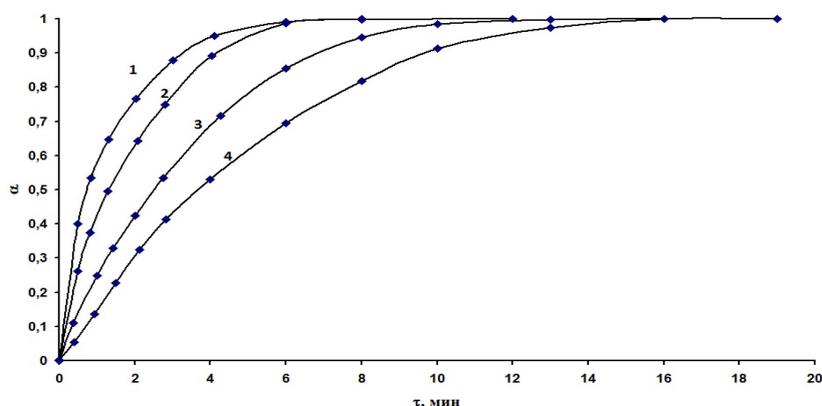


Рис. 3. Зависимость степени превращения Cd от толщины пленок при термообработке при температуре  $T = 673$  К: 1) 5 нм, 2) 9 нм, 3) 21 нм, 4) 32 нм

#### Литература.

1. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307.
2. Э. П. Суrowой, Л.Н.Бугерко, В.Э.Суrowая и др. соавт., Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2012).
3. Борисова, Н. В. Методы исследования неорганических материалов: учебное пособие// Н. В. Борисова, Л. Н. Бугерко, С. М. Сирик, Э. П. Суrowой, И. В. Титов: ГОУ ВПО «КемГУ». – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2008. - 182 с.
4. Э.П.Суrowой и С.В. Бин, Русс.Журнал Физической химии, Химия, с.87,473(2013)
5. Борисова Н.В., Суrowой Э.П. // Коррозия: материалы, защита. 2007. № 6. С. 13.
6. Э. П. Суrowой, Л.Н.Бугерко, В.Э.Суrowая. Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2013).

### ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ И ОПЫТЫ С НЕЙ

*А.А. Ёрматов, ст. гр.10А41, Л.Г. Деменкова, ст. преп.,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail:lar-dem@mail.ru*

Одним из самых интенсивно развивающихся направлений современной науки является нанохимия магнитных материалов. Явление магнетизма известно человеку с давних пор, однако, именно магнитный феномен нанообъектов сейчас – одна из самых обсуждаемых тем в научных журналах. Магнитные нанообъекты, к которым относятся и магнитные жидкости (МЖ), как оказалось по результатам исследований [2, 5], могут нести в себе огромные возможности для перспектив-

ного применения в различных отраслях промышленности. Цель нашего исследования – получить магнитную жидкость и изучить её свойства. Для этого нами был проведён обзор литературных источников по данному вопросу [1-9], руководствуясь которыми, мы выбрали оптимальный способ получения магнитной жидкости.

МЖ представляет собой золь, коллоидный раствор, мицеллы которого образованы ферромагнитными наночастицами, распределёнными в воде или каком-либо органическом растворителе (керосине, эфирах). Наночастицы состоят из магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) или феррита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с оксидами других металлов – марганца, никеля, кобальта, цинка). В качестве стабилизатора золя используют растворы поверхностно-активных веществ (например, олеиновую кислоту), препятствующих коагуляции золя и его расслоению. Адсорбируясь на поверхности дисперсных наночастиц, поверхностно-активные вещества образуют защитное покрытие, являющееся своеобразным барьером [1], благодаря чему МЖ не расслаивается и сохраняет свои свойства неограниченный период времени. Изучение МЖ имеет огромное значение, т.к. обуславливает решение фундаментальных проблем в физике и химии, а также практическое значение в технике, способствуя использованию МЖ в промышленности [2, 6, 7, 9]. Достижения в области исследования МЖ стали реальными только при применении комплекса методов ряда наук – математической статистики, химической термодинамики, механики, оптики и магнетизма [1,2].

Впервые МЖ были получены ещё в 1963 г. в США, однако только в настоящее время благодаря изучению их свойств значительно возрос спрос на них. В СССР исследование получения и областей применения магнитных жидкостей началось с работ Д.В. Орлова.

Физико-химические свойства МЖ определяются особенностями её составных частей (дисперсной фазы, дисперсионной среды, стабилизатора), которые можно значительно изменять в зависимости от потребностей. Своеобразие МЖ заключается в сочетании высокой текучести и намагниченности – в десятки тысяч раз большей, чем у обычных жидкостей [5, 6], т.к. каждая наночастица представляет собой постоянный магнит. Под действием теплового движения частицы перемещаются беспорядочно, а под действием магнитного поля происходит ориентация магнитных моментов частиц, при этом изменяются реологические свойства золя. Такое поведение может позволить применять МЖ в прикладных задачах. Ещё одним интересным свойством МЖ является способность выталкивать тела с большей плотностью на поверхность при действии внешнего магнитного поля. Кроме того, МЖ могут иметь разный цвет, что позволяет использовать их в качестве магнитных красителей, и уже разработаны принтеры, где струя чернил отклоняется под действием магнита, образуя рисунки [6].

Важной областью применения МЖ является машиностроение. Магнитные смазки на основе МЖ являются более эффективными, т.к. размеры частиц очень маленькие, а кроме того, МЖ не вытекает из промежутков между трущимися деталями и может выталкивать загрязнения, являющиеся, как правило, немагнитными материалами. Очень перспективно применение МЖ для уплотнения зазоров между вращающимися деталями – втулками, валами, т.к. обеспечивает высокую герметичность.

Как показал обзор литературных источников [1-9], несмотря на активное изучение МЖ, пока ещё не предложены доступные высокопроизводительные методы их получения. Учитывая, что МЖ представляет собой коллоидный раствор, для её получения надо размельчить частицы дисперсной фазы до наноразмеров и обеспечить их стабилизацию в дисперсной фазе. Установлено [5], что коагуляция не происходит, если частицы дисперсной фазы имеют размеры 500 – 2000 нм. Добиться такой дисперсности можно двумя способами: либо размельчая крупные частицы, либо агрегируя молекулы. Кроме того, в процессе получения МЖ важно, чтобы мелкие частицы не вступили в какие-либо химические реакции, поэтому необходимо минимизировать их контакты с окружающей средой. Диспергирование частиц дисперсной фазы осуществлялось при помощи, как механических мельниц, так и ультразвука, электроплазменного измельчения, электрораспыления, однако при этом не была достигнута нужная степень дисперсности. Кроме того, процессы оказались сложными, длительными и трудозатратными [4].

Более продуктивным оказалось использование методов конденсации – агрегации молекулярных частиц до коллоидной дисперсности. В карбонильном методе используется реакция разложения карбониллов металлов, при этом образуется очень чистый высокодисперсный продукт, например:  $\text{Fe}(\text{CO})_5 \rightarrow \text{Fe} + 5\text{CO}$ . Электролитическая конденсация проводится путём электролиза растворов солей металлов. Вакуумная конденсация паров металла также позволяет получить неплохие результаты.

Химическая конденсация магнетита была предложена ещё в 1938 г. В. С. Элмором [1]. Метод основан на реакции:  $2\text{FeCl}_3 + \text{FeCl}_2 + 8\text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \downarrow + 8\text{NaCl} + 4\text{H}_2\text{O}$ , проводимой при

нагревании. Впоследствии метод был модифицирован [7]: вместо гидроксида натрия стали использовать гидроксид аммония, что позволило снизить температуру реакции. Полное осаждение образующихся частиц магнетита происходит только при достаточно большом, полуторакратном избытке осадителя. Таким образом, сущность метода химической конденсации магнетита заключается в его осаждении из солей железа (II) и (III) избыточным количеством раствора гидроксида аммония. Полученный осадок магнетита имел дисперсность порядка 10 нм, по своим магнитным свойствам образец приближался к монокристаллам магнетита  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  [7]. В настоящее время способами получения МЖ являются разнообразные комбинации вышеперечисленных методов, приводящие к получению стабильных МЖ [1].

Для получения МЖ в наших условиях был использован метод химической конденсации, основанный на реакции взаимодействия солей железа (II) и (III) с гидроксидом аммония. Модифицируя методики, описанные в литературе [1-2] за счёт применения сульфата аммония-железа (III)  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ , а также изменив время выдержки на магните, мы получили стабильную МЖ (золь магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , в котором дисперсионной средой является вода, а также глицерин). В качестве стабилизатора использовали олеаты натрия и калия. Нами установлено, что МЖ, обладающая хорошими магнитными свойствами, получается без прогревания исходной смеси с поверхностно-активными веществами, а также стадия выдерживания продукта реакции на магните может быть значительно сокращена. Были исследованы некоторые физико-химические свойства полученной МЖ. При изучении её оптических свойств путём рассмотрения явления опалесценции мы подтвердили наличие наночастиц, т.к. в полученном золе наблюдался конус Тиндала. Кроме того, мы наблюдали движение магнитной жидкости в постоянном магнитном поле, смоделировали поведение МЖ как высокоэффективной магнитной смазки. Мы изучили возможность направленного изменения свойств других материалов путём их обработки магнитной жидкостью на примере бумаги, ваты, различных видов тканей, древесного шпона. Выяснено, что наилучшими магнитными свойствами обладает магнитный материал на основе бумаги и ткани. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле представлено на рис. 1



Рис. 1. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле [1]

Таким образом, МЖ – это перспективный материал, обладающий интересными реологическими и магнитными свойствами, который в недалёком будущем, по нашему мнению, будет широко использоваться в промышленности, особенно в машиностроении. МЖ объединяют все достоинства жидкостей (небольшой коэффициент трения, высокая проницаемость, способность к смачиванию) и магнитных твёрдых тел (способность удерживаться в определённом месте под действием магнитного поля). Проблема получения МЖ и их использования заслуживает дальнейшего рассмотрения и активного изучения.

Дальнейшая работа по данной тематике будет проводиться в направлении изучения других химических реакций, дающих удовлетворительные результаты для получения магнитной жидкости, а также подбор различных стабилизаторов, позволяющих предотвратить расслоение МЖ на дисперсную фазу и дисперсионную среду.

Литература.

1. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Получение магнитной жидкости и её использование в машиностроении /Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов Всероссийской

- ской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. – Томск, 2014. – С. 203-205.
2. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Магнитная жидкость – наноматериал для машиностроения / Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014). Материалы Международной научной конференции молодых ученых. – Томск, 2014. – С. 631-635.
  3. Контарев А.В. Применение магнитных жидкостей / А.В. Контарёв, С.В. Стадник, В.А. Лешуков // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 10. – С. 67-70.
  4. Сенатская И.И. Жидкость, которая твердеет в магнитном поле / И.И. Сенатская, Ф.С. Байбуртский // Химия и жизнь. – 2012. – №10. – С. 43-47.
  5. Магнитные жидкости – технология будущего? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nanometer.ru/046.htm>, свободный.
  6. Магнитные жидкости [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/МАГНИТНЫЕ.htm](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/МАГНИТНЫЕ.htm), свободный.
  7. С. Пайпелл. Маловязкая магнитная жидкость, полученная коллоидной подвеской магнитных частиц [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://khd2.narod.ru/technol/magliq.htm>, свободный.
  8. Важнейшие научные результаты физики и химии наноматериалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ftiudm.ru/component/option.com\\_remository.htm](http://ftiudm.ru/component/option.com_remository.htm), свободный.

#### ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК GA ПОСЛЕ СВЕТОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Е.А. Кривошекова, студент, С.В. Журавлева, учебный мастер,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6  
E-mail: epsur@kemsu.ru*

Субмикронные и наноразмерные пленки металлов, оксидов металлов в настоящее время широко применяются в качестве конструкционных элементов и функциональных слоев в современных электронных устройствах, деталях авиакосмической техники, в качестве твердых износостойких покрытий.

Галлий (Ga) – превосходный смазочный материал. На его основе созданы практически все самые важные металлические клеи. Металлическим галлием также заполняют кварцевые термометры для измерения высоких температур. Исследование оптических свойств наноразмерных пленок Ga имеет большое значение из-за своего широкого использования в современной промышленности. Поэтому этот металл хорошо применяется в стекольной и керамической промышленности. В настоящее время в различных областях науки и техники актуальное применение находят ультратонкие металлические пленки и многослойные пленочные структуры наноразмерной толщиной. Это обусловлено тем, что указанные объекты обладают рядом уникальных свойств, нехарактерных для материалов в массивном состоянии, что вызывает большой интерес к ним со стороны как исследователей, так и разработчиков современной аппаратуры [1-3].

Целью настоящей работы являлось исследование природы и закономерностей изменения оптических свойств наноразмерных плёнок галлия с различным соотношением толщины подслоев.

Образцы готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) на установке «ВУП-5М» путем нанесения тонкой пленки галлия с различной толщиной на стеклянные подложки. Подложки 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 [1-3]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину пленок, наносимых веществ определяли спектрофотометрическим методом. Образцы подвергали световому воздействию полным спектром ртутной лампы ДРТ – 250. Регистрацию эффектов до и после светового воздействия осуществляли спектрофотометрическим методом в диапазоне длин волн 190 – 1100 нм, используя спектрофотометр «ShimadzuUV-1700».

В результате исследований оптических свойств тонких слоев Ga, нанесенных на стеклянные подложки, прежде всего было установлено, что спектры поглощения и отражения пленок до светового воздействия существенно зависят от их толщины (рис. 1). Видно, что на спектрах поглощения наблюдаются характерные для галлия полосы поглощения. По мере увеличения толщины оптическая плотность наноразмерной пленки галлия в исследованном диапазоне длин волн возрастает.