

УДК 541.67:546.171.8:537.226:537.634

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В АЗИДЕ СЕРЕБРА

Кузьмина Л.В.¹, Сугатов Е.В.¹, Газенаур Е.Г.¹, Крашенинин В.И.¹

¹ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет Минобрнауки России», Кемерово, Россия (650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6), e-mail: specproc@kemsu.ru

Обсуждены особенности проявления магнитоэлектрического эффекта в нитевидных кристаллах азиде серебра со средними размерами $10 \times 0,1 \times 0,03$ мм³ в постоянном магнитном поле, которые связаны со свойствами краевых дислокаций: наличием электрического заряда ($\approx 10^{-16}$ Кл) и магнитного момента (5×10^{-21} А×м²). Показано, что на линии дислокации максимальное количество атомов, имеющих магнитный момент (предположительно Ag⁰ – парамагнитный центр), примерно составляет 7×10^2 шт. Проведено измерение магнитоэлектрического эффекта в кристаллах азиде серебра методом гармонической модуляции поля. Магнитоэлектрический коэффициент, определенный как отношение величины напряженности электрического поля поляризации к соответствующей напряженности внешнего магнитного поля, составил $\approx 6 \times 10^{-4}$ В/см×Э. Показана связь магнитоэлектрического эффекта и реакционной способности азиде серебра в магнитном поле.

Ключевые слова: кристаллы азиде серебра, магнитное поле, магнитоэлектрический эффект, разложение.

MAGNETOELECTRIC EFFECT IN THE SILVER AZIDE

Kuzmina L.V.¹, Sugatov E.V.¹, Gazenaur E.G.¹, Krašenin V.I.¹

¹Kemerovo State University, Kemerovo, Russia (650043, Kemerovo, str. Krasnaya, 6), specproc@kemsu.ru

In this paper discusses the peculiarities of manifestations of magnetoelectric effect in threaded crystals of silver azide with average dimensions $10 \times 0,1 \times 0,03$ mm³ in a constant magnetic field, associated with the properties of edge dislocations: the presence of an electric charge (about 10^{-16} C) and the magnetic moment (5×10^{-21} A×m²). It is shown that on the dislocation line the maximum quantity of the atoms having the magnetic moment (allegedly Ag⁰ □- the paramagnetic center), approximately makes 7×10^2 piece. Measurement of magnetoelectric effect in the crystals of silver azide is carried out by a method of harmonious modulation of a field. The magnetoelectric coefficient defined as the relation of size of intensity of electric field of polarization to the corresponding intensity of an external magnetic field, made 6×10^{-4} V/cm×Oe. Communication of magnetoelectric effect and reactionary ability of silver azid in a magnetic field is shown.

Keywords: silver azide, magnetic field, magnitoelektric effect, decomposition.

Введение

Ранее было обнаружено разложение кристаллов азиде серебра в постоянном магнитном поле с индукцией от $5 \cdot 10^{-5}$ до 0,6 Тл, фиксируемое по выделению газообразных продуктов разложения в момент действия поля [3].

Для объяснения данного эффекта было сделано предположение о наличии обратного магнитоэлектрического эффекта в данных материалах, поскольку приложение бесконтактного электрического поля со специально подобранными значениями напряженности, направленного определенным образом относительно внешнего магнитного поля, «гасило» реакцию разложения.

При этом считали, что бесконтактное электрическое поле (внешнее поле) компенсирует внутреннее электрическое поле, возникающее при включении магнитного поля.

Также известно, что под действием магнитного поля, как и при других видах энергетического воздействия [4], реакция разложения с образованием конечного продукта N_2 наиболее интенсивно протекает в реакционных областях (РО), образованных краевыми дислокациями и атмосферой Коттрелла, состоящей из примесных и точечных дефектов [5].

Необходимым условием для реализации разложения в анионной подрешетке азидов тяжелых металлов является поставка дырок в РО, которая возможна под действием электрического поля [4].

Тогда согласно нашим представлениям, инициирование химической реакции магнитным полем возможно объяснить с помощью магнитоэлектрического эффекта, а именно разложение кристаллов происходит в результате поставки дырок из объема образца внутренним электрическим полем, возникающим из-за поляризующего действия внешнего магнитного поля.

Данная работа является продолжением цикла работ по исследованию особенностей проявления магнитоэлектрического эффекта в нитевидных кристаллах азида серебра.

Объекты и методика эксперимента

Объектами исследования являются нитевидные кристаллы азида серебра (AgN_3), выращенные по известной методике Ф.И. Иванова [1] и имеющие средние размеры $10 \times 0,1 \times 0,03$ мм³.

Интерес к нитевидным кристаллам в настоящей работе определен тем, что они могут существовать в состоянии с определенным (ограниченным) числом способных к движению дислокаций, введенных пластической деформацией.

Для приготовления образцов отбирали кристаллы, имеющие совершенную огранку. Образцы готовили в планарном варианте геометрии, которая дает возможность фиксировать смещение ямок травления.

Магнитное поле создавали с помощью регулируемого электромагнита (ЭМ-1), индукцию магнитного поля изменяли от $5 \cdot 10^{-5}$ до 1 Тл. Измерение магнитного поля осуществляли с помощью миллитесламетра (точность измерения 10^{-5} Тл).

Электрическое поле создавали при помощи источников питания постоянного тока.

Исследование дислокационной структуры азида серебра осуществлялось методом ямок травления, для этого приклеенный за оба конца кристалл опускали в 10%-ный водный раствор $Na_2S_2O_3$ на 5–7 секунд, затем промывали в дистиллированной воде и наблюдали ямки травления под микроскопом с увеличением $\times 120$. Дислокации вводили методом изгибной деформации кристалла.

Магнитную восприимчивость кристаллов азида серебра определяли методом Фарадея [2].

Измерение магнитоэлектрического эффекта проводили методом гармонической модуляции поля. Образец помещался между полюсами магнита в постоянное магнитное поле с индукцией $B_0 = 0,3-0,5$ Тл; с помощью модулирующих катушек создавалось переменное магнитное поле, направленное параллельно постоянному (амплитуда $B' = 0,02$ Тл; и частота $\nu = 0,1-1$ кГц). Регистрировали максимальное напряжение на металлизированных (покрытых проводящей серебряной пастой) поверхностях образца при определенной ν переменного магнитного поля. Для получения достоверных результатов была использована статистическая обработка при большом количестве параллельных опытов (≈ 15).

Результаты и обсуждение

По методу Фарадея была определена удельная магнитная восприимчивость нитевидных кристаллов азида серебра, которая составляет $(9,13 \pm 0,15) \cdot 10^{-6}$ см³/г, что свидетельствует о проявлении диамагнитных свойств данными материалами. Следует отметить, что магнитная восприимчивость была определена на бездислокационных кристаллах азида серебра. Но для дальнейших исследований предполагается механическое воздействие на образцы (изгибная деформация), после чего методом ямок травления визуализируются дислокации в количестве от 5 до 12 штук на развитой грани нитевидного кристалла.

При механическом нагружении образцов азида серебра одновременно с увеличением плотности дислокаций наблюдается эффект намагничивания (было зафиксировано изменение величины магнитной индукции после нагружения образцов). Установлено, что максимальная намагниченность образцов достигается при максимальной плотности дислокаций в исследуемых кристаллах. Из графика на рисунке 1 видно, что намагниченность линейно зависит от плотности дислокаций в кристаллах азида серебра.

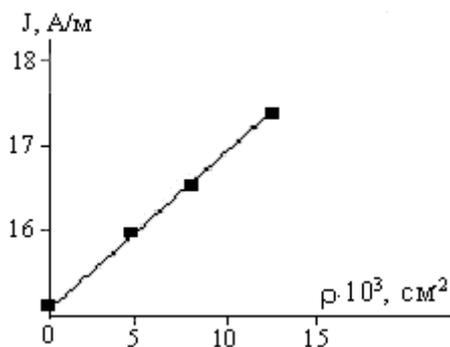


Рис. 1. Зависимость намагниченности кристаллов азида серебра от плотности дислокаций

Используя результаты измерения намагниченности (J) кристаллов азида серебра с введенными дислокациями, определили магнитный момент (M) кристалла азида серебра с дислокациями по формуле

$$M=J \times V_d = J \times d \times S_{c3},$$

где d – толщина кристалла, S_{c3} – сечение захвата дислокации.

При введении максимального числа дислокаций магнитный момент $M=6 \times 10^{-20} \text{ А} \times \text{м}^2$, тогда магнитный момент линии краевой дислокации составляет $\approx 5 \times 10^{-21} \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Следовательно, на линии дислокации максимальное количество атомов, имеющих магнитный момент (предположительно Ag^0 – парамагнитный центр), примерно 7×10^2 шт. Подтверждением магнитного момента дислокаций в кристаллах азида серебра являются полученные ранее «порошковые фигуры» [5].

Кроме того, по смещению ямок травления в электрическом поле (к положительному электроду) был определен заряд краевой дислокации, равный $\sim 10^{-16}$ Кл. В этом случае введение максимального числа дислокаций (12 штук) с помощью индентора в слабом контактном электрическом поле (1 В/см) приводит к всплеску электрического тока в образце (рис. 2).

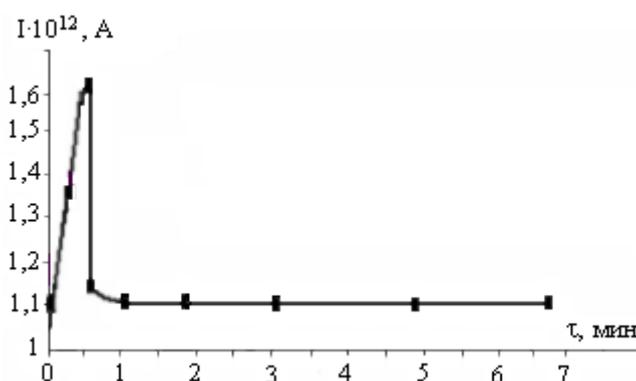


Рис. 2. Зависимость тока в кристаллах азида серебра с введенными дислокациями от времени воздействия контактного электрического поля напряженностью 1 В/см

При введении отрицательно заряженных и имеющих магнитный момент краевых дислокаций происходит перераспределение электрического заряда и нескомпенсированного магнитного момента в образце азида серебра, который также имеет и положительно заряженную парамагнитную примесь (например, Fe^{3+}) [5].

Магнитоэлектрический эффект является результатом взаимодействия двух подсистем ионного кристалла: электрической, состоящей из заряженных ионов, и магнитной – совокупности нескомпенсированных спиновых магнитных моментов ионов. Таким образом, причинами проявления данного эффекта в изначально диамагнитном кристалле азида серебра являются особые свойства специально введенных краевых дислокаций (электрический заряд и магнитный момент).

Кристаллы азидов серебра с введенными дислокациями являются наиболее чувствительными к действию магнитного поля, поскольку места выхода дислокаций на поверхность являются реакционными областями, в которых преимущественно запускается и протекает реакция разложения [3; 4].

Таким образом, разложению кристаллов азидов серебра в энергетически слабом магнитном поле способствует электрическое поле поляризации (обратный магнитоэлектрический эффект).

По результатам измерения напряжения (измеренная величина составляла не более 0.2 В) в кристалле азидов серебра, которое фиксировали при включении магнитного поля, оценили величину магнитоэлектрического коэффициента (как отношение величины напряженности электрического поля поляризации к соответствующей напряженности внешнего магнитного поля), равную $\approx 6 \cdot 10^{-4}$ В/см·Э, которая не противоречит литературным данным для слабомагнитных веществ.

Заключение

В настоящей работе обсужден вопрос о проявлении магнитоэлектрического эффекта в нитевидных кристаллах азидов серебра, причиной которого является наличие электрического заряда и магнитного момента краевых дислокаций в данных материалах. А также показана связь магнитоэлектрического эффекта и реакционной способности азидов серебра в магнитном поле.

Список литературы

1. Иванов Ф.И., Зуев Л.Б., Лукин М.А., Мальцев В.Д. О выращивании нитевидных кристаллов азидов серебра и свинца // Кристаллография. – 1983. – Т. 28. – № 1. – С. 194-196.
2. Калинин В.Т., Ракитин Ю.В. Введение в магнетохимию. Метод статической магнитной восприимчивости в химии. – М. : Наука, 1980. – 102 с.
3. Крашенинин В.И., Кузьмина Л.В., Дорохов М.А., Храмченко В.Е. Реакционная способность кристаллов азидов серебра в постоянном и переменном магнитных полях // Материаловедение. - 2005. – № 10. – С. 14–18.
4. Крашенинин В.И., Захаров В.Ю. Медленное разложение азидов тяжелых металлов – Томск : Издательство научно-технической литературы, 2006. – 150 с.

5. Крашенинин В.И., Кузьмина Л.В., Газенаур Е.Г., Гасанова В.И. Моделирование дефектной структуры в кристаллах азиды серебра // Вестник ТГУ. Приложение. – 2006. – № 19. – С. 103–104.

Рецензенты:

Кречетов А.Г., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой физической химии Кемеровского государственного университета, г. Кемерово.

Каленский А.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры химии твердого тела Кемеровского государственного университета, г. Кемерово.