

Наноккомпозиты с тройной оболочкой $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{CoFe}_2\text{O}_4@\text{BaTiO}_3$: синергия магнитострикции и пьезоэлектричества для мультифункциональных применений
Ага-Тагиева С.Э. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат химических наук Кладько Д.В. (ИТМО)

Введение. Магнитоэлектрическое явление (МЭ), заключающееся в преобразовании магнитного поля в электрическое и наоборот, является ключевым для разработки многофункциональных материалов. Оно активно используется в таких устройствах, как магнитные датчики [1], элементы памяти [2], конденсаторы [3] и системы накопления энергии [4]. В отличие от однофазных материалов, многофазные композиты демонстрируют значительно более высокий магнитоэлектрический эффект, что делает их перспективными для практического применения. Особый интерес представляют структуры типа «ядро-оболочка», где магнитострикционный материал преобразует магнитное поле в деформацию, а пьезоэлектрический слой трансформирует её в электрическое поле. Для синтеза таких наноккомпозитов широко применяются золь-гель [5] и гидротермальные методы [6], обеспечивающие контроль над структурой и свойствами материала. Однако точная оценка магнитоэлектрических коэффициентов требует учёта механической связи между компонентами и минимизации ошибок, связанных с наноразмерными эффектами. Традиционные системы с архитектурой "ядро-оболочка", такие как $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{CoFe}_2\text{O}_4$ или $\text{CoFe}_2\text{O}_4@\text{BaTiO}_3$, демонстрируют улучшенные свойства по сравнению с плёночными структурами, но всё же имеют ограниченные величины магнитоэлектрической конверсии, что затрудняет их применение в практических устройствах. Для преодоления этих ограничений мы предложили трёхфазную систему $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{CoFe}_2\text{O}_4@\text{BaTiO}_3$, которая позволяет усилить магнитоэлектрическую конверсию за счёт синергетического взаимодействия между фазами и улучшенной межфазной совместимости. Такой подход открывает новые возможности для создания материалов с повышенной эффективностью преобразования магнитной энергии в электрическую.

Основная часть. Целью данного исследования является синтез и характеристика магнитоэлектрических частиц с различными интерфейсами $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{CoFe}_2\text{O}_4@\text{BaTiO}_3$, с использованием метода золь-гель самовозгорания предшественников солей металлов. Магнитные свойства синтезированных магнитотвердых и магнитомягких наночастиц сравниваются с индивидуальными наночастицами аналогичного размера, полученными тем же способом.

Синтез $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ проводили золь-гель методом, при котором катионные растворы бария и железа смешивали с лимонной кислотой с последующим прокаливанием полученного геля при 1000°C . Этот материал обладает остаточной намагниченностью (M_s), равной $71 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$, и коэрцитивной силой (H_c), равной $472,7 \text{ мТл}$. Синтез $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{CoFe}_2\text{O}_4$ включал использование катионов железа и кобальта с добавлением лимонной и азотной кислот, после чего предшественник высушивали и прокаливали при 450°C . Магнитные свойства этого материала характеризуются величиной M_s , равной $76 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$, и H_c , равной 125 мТл . Рентгеноструктурный анализ подтвердил структурную целостность обоих полученных материалов.

Выводы. Исследование демонстрирует синтез и характеристику магнитоэлектрических наночастиц $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{CoFe}_2\text{O}_4@\text{BaTiO}_3$, обладающих многообещающими магнитными свойствами для широкого спектра применений. Полученные результаты подчеркивают ключевую роль магнитоэлектрической связи, возникающей благодаря взаимодействию сегнетоэлектрической оболочки и магнитного ядра, что значительно расширяет их функциональные возможности. Такие материалы открывают новые перспективы для разработки инновационных устройств в области энергетики, сенсорики и хранения данных.

Список использованных источников:

1. Wang, Y.; Gray, D.; Berry, D.; Gao, J.; Li, M.; Li, J.; Viehland, D. An Extremely Low Equivalent Magnetic Noise Magnetoelectric Sensor. *Adv. Mater.* 2011, 23, 4111–4114.
2. Zhai, J.; Xing, Z.; Dong, S.; Li, J.; Viehland, D. Detection of Pico-Tesla Magnetic Fields Using Magneto-Electric Sensors at Room Temperature. *Appl. Phys. Lett.* 2006, 88, 062510.
3. Shah, S. Multiferroics: Towards a Magnetoelectric Memory Related Papers. *Nat. Mater.* 2008, 7, 425–426
4. Israel, C.; Kar-Narayan, S.; Mathur, N.D. Converse Magnetoelectric Coupling in Multilayer Capacitors. *Appl. Phys. Lett.* 2008, 93, 173501.
5. Wang, P.; Zhang, E.; Toledo, D.; Smith, I.T.; Navarrete, B.; Furman, N.; Hernandez, A.F.; Telusma, M.; McDaniel, D.; Liang, P.; et al. Colossal Magnetoelectric Effect in Core-Shell Magnetoelectric Nanoparticles. *Nano Lett.* 2020, 20, 5765–5772.
6. Gao, R.; Xue, Y.Z.; Wang, Z.; Chen, G.; Fu, C.; Deng, X.; Lei, X.; Cai, W. Effect of Particle Size on Magnetodielectric and Magnetoelectric Coupling Effect of CoFe₂O₄@BaTiO₃ Composite Fluids. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2020, 31, 9026–9036.