

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАМАГНИЧЕННОСТИ В НАНОШНУРАХ НИКЕЛЯ

М.В. Шарейко, А.Л. Данилюк

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной работе с помощью моделирования в пакете Nmag установлены закономерности изменения распределения намагниченности нанопроволок никеля под действием упругих напряжений. Выявленные закономерности перехода намагниченности из перпендикулярного в радиальное состояние определяются размерами нанопроволки и его аспектным отношением. Установлено, что с ростом аспектного отношения растет пороговая величина упругих напряжений для такого перехода.

Ключевые слова: нанопроволки; никель; намагниченность; магнитоупругие напряжения.

MAGNETIZATION DISTRIBUTIONS IN NICKEL NANOWIRES

M.V. Shareiko, A.L. Danilyuk

Educational Institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. In this study, using simulations in the Nmag package, the patterns of magnetization distribution changes in nickel nanowires under elastic stress were established. The patterns of magnetization transition from a perpendicular to a radial state depend on the nanowire size and its aspect ratio. As the aspect ratio increases, the threshold elastic stress for this transition increases.

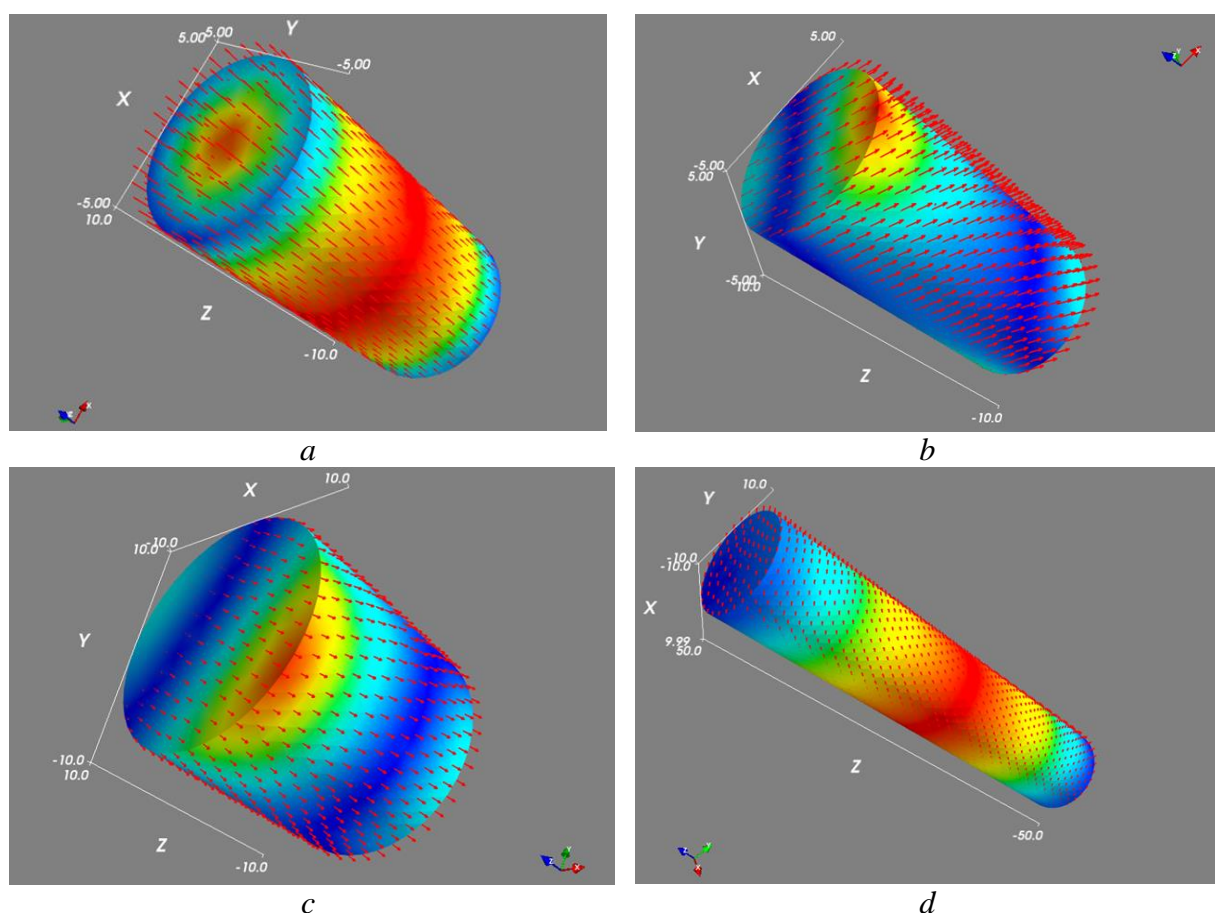
Keywords: nanowires; nickel; magnetization; magnetoelastic stresses.

Введение

Никель (Ni) это ферромагнетик с температурой Кюри 358 °С. При комнатной температуре его намагниченность насыщения составляет 485–490 кА/м (или 0,61–0,64 Тл). Никель обладает кубической кристаллической решеткой. Константа первой анизотропии $(-4,5...-5,0) \cdot 10^3$ Дж/м³ отрицательна. В нанокристаллическом никеле намагниченность насыщения может падать при уменьшении размера (размерный эффект), а растяжение решетки может изменять характер анизотропии.

Основная часть

Для проведения микромагнитного моделирования применялся пакет Nmag, который для расчета намагниченности использует уравнение Ландау-Лифшица-Гильберта [1] и метод конечных элементов [2]. Шаг дискретизации равен от 1 до 2 нм. Проведенное моделирование распределения намагниченности в нанопшнурках никеля показало следующее. Для цилиндра диаметром $D = 10$ нм и высотой $h = 20$ нм в отсутствие напряжений равновесным направлением намагниченности является ось цилиндра (z -состояние), рисунок *a*. При наличии бокового сжатия нанопшнурка намагниченность ориентирована перпендикулярно оси цилиндра (т.е. переходит в радиальное состояние), рисунок *b*. Величина перехода составляет $\sigma_{th} = 0,4$ ГПа.



Намагниченность никелевых нанопшнурков разных размеров в отсутствие магнитоупругих напряжений (*a*) и при радиальном сжатии с нагрузкой 0,4 ГПа (*b*), 0,06 ГПа (*c*), 0,6 ГПа (*d*)
Magnetization of nickel nanowires of different sizes in the absence of magnetoelastic stresses (*a*) and under radial compression with a load of 0.4 GPa (*b*), 0.06 GPa (*c*), 0.6 GPa (*d*)

Для цилиндра диаметром $D = 10$ нм и высотой $h = 100$ нм ситуация аналогична. Порог напряжений перехода из z -состояния в радиальное

составляет $\sigma_{th} = 2,9$ ГПа. Для нанOSHура диаметром $D = 20$ нм и высотой $h = 20$ нм в отсутствии напряжений намагниченность также однородна и параллельна оси нанOSHура. Однако переход из z -состояния в радиальное происходит при достаточно малых напряжениях, т.е. $\sigma_{th} = 0,06$ ГПа (рисунок *c*). Для нанOSHура диаметром $D = 20$ нм и высотой $h = 100$ нм порог напряжений перехода из z -состояния в радиальное составляет $\sigma_{th} = 0,6$ ГПа (рисунок *d*).

Заключение

Таким образом проведенное моделирование для нанOSHуров никеля показало, что при наличии упругих напряжений магнитная структура может изменяться. В данном случае происходит переход из перпендикулярного z -состояния в радиальное состояние намагниченности при наличии напряжений, сжимающих нанOSHуры перпендикулярно его оси. Выявленные закономерности перехода намагниченности из перпендикулярного в радиальное состояние определяются размерами нанOSHура и его аспектным отношением $a = h/D$. Установлено, что с ростом аспектного отношения растет пороговая величина перехода σ_{th} нанOSHура никеля из перпендикулярного в радиальное магнитное состояние.

Полученные закономерности роста пороговой величины напряжений с ростом аспектного отношения определяются прежде всего влиянием анизотропии формы (полями размагничивания), которая противодействует переходу нанOSHура в радиальное состояние, так как магнитокристаллическая анизотропия оказывает незначительное влияние. Чем выше вклад анизотропии формы, тем больше должна быть величина магнитоупругой энергии, чтобы достичь перехода. Так как с ростом аспектного отношения вклад анизотропии формы растет, то наблюдается также и увеличение пороговой величины упругих напряжений для перехода из перпендикулярного в радиальное магнитное состояние. Однако рост вклада анизотропии формы с увеличением аспектного отношения не является линейным, он достигает насыщения при аспектном отношении, когда разность размагничивающих факторов для нанOSHура перестает практически изменяться. Поэтому для пороговой величины упругих напряжений также должен наблюдаться выход на насыщение.

Список использованных источников

1. Гладков С.О., Богданова С.Б. (2015) К теории уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта. *Физика твердого тела*. 57(5), 913–916.
2. J. Vishal, A. Sethi, D-K. Kumar. (2013) Finite Element Method: An Overview. *Walailak Journal of Science and Technology*. 10(1), 1–8.

3 T. Wasiak, L. Przepis, K. Walczak, D. Janas. (2018) Nickel Nanowires: Synthesis, Characterization and Application as Effective Catalysts for the Reduction of Nitroarenes. *Catalysts*. 8(11), 566.

References

1. Gladkov, S.O., Bogdanova, S.B. (2015) To the theory of the Landau-Lifshitz-Hilbert equation. *Phys. Solid State* 57(5), 929–932 (in Russian).

2. J. Vishal, A. Sethi, D-K. Kumar. (2013) Finite Element Method: An Overview. *Walailak Journal of Science and Technology*. 10(1), 1–8.

3. T. Wasiak, L. Przepis, K. Walczak, D. Janas. (2018) Nickel Nanowires: Synthesis, Characterization and Application as Effective Catalysts for the Reduction of Nitroarenes. *Catalysts*. 8(11), 566.

Сведения об авторах

Шарейко М.В., аспирант кафедры микро- и нанoeлектроники, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Данилюк А.Л., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», danilyuk@bsuir.by.

Information about the authors

Shareiko M.V. graduate student at the Department of Micro- and Nanoelectronics, Educational Institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”.

Danilyuk A.L., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Micro- and Nanoelectronics, Educational Institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, danilyuk@bsuir.by.