

УДК 537.624

## ВЛИЯНИЕ ДВУХОСНОЙ АНИЗОТРОПИИ НА ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ С ПЛОСКОСТНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

© 2021 г. Г. М. Николадзе<sup>1</sup>, А. В. Матюнин<sup>1</sup>, \*, П. А. Поляков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
“Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, физический факультет, Москва, Россия

\*E-mail: physphak@mail.ru

Поступила в редакцию 21.06.2021 г.

После доработки 05.07.2021 г.

Принята к публикации 28.07.2021 г.

Обсуждаются результаты магнитооптических исследований, позволившие существенно расширить представление о стационарной доменной структуре в пленках ферритов-гранатов, в которых, наряду с наличием двухосной анизотропии, также присутствует и плоскостная анизотропия. Обнаружено два механизма намагничивания пленок слабыми магнитными полями порядка 1 Э: посредством движения  $90^\circ$  и  $180^\circ$  доменных границ и проращением клиновидных доменов из замыкающих доменов.

DOI: 10.31857/S0367676521110260

### ВВЕДЕНИЕ

Магнитные свойства ферромагнитных и ферримагнитных материалов существенно зависят от вида доменной структуры, образующейся в этих материалах [1]. Исследование различных типов доменов и механизмов их образования проводится уже на протяжении сотни лет и, несмотря на значительные достижения в этой области [1, 2], не потеряли актуальность и в настоящее время [3–6]. В данной работе проведено экспериментальное исследование влияния двухосной анизотропии на доменную структуру в пленках ферритов-гранатов состава  $(YLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  при наличии в них плоскостной анизотропии. Исследование таких пленочных материалов проводилось и ранее. В частности, в работе [7] в таких пленочных материалах были обнаружены замыкающие магнитные домены Ландау–Лифшица [8]. В этой работе проведено более тщательное исследование стационарной доменной структуры при наличии внешнего магнитного поля  $\vec{H}_0$  и обнаружены новые особенности доменной организации и наличие иных типов доменов.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Измерения проводились в рамках стандартной методики магнитооптических измерений с помо-

щью поляризационного магнитооптического микроскопа, схема которого представлена на рис. 1.

В качестве источника света используется светодиод белого свечения. Предметный столик можно перемещать во взаимно перпендикулярных направлениях и регулировать его наклон. Так как пленка имеет плоскостную анизотропию и вектор намагниченности выходит из плоскости пленки не более чем на  $5^\circ$ , а наблюдение эффекта Фарадея требует, чтобы свет распространялся параллельно намагниченности, требуется устанавливать пленку под некоторым углом, чтобы появилась необходимая компонента вектора намагниченности. Изображение регистрировалось с помощью камеры *Eakins*. Магнитная пленка устанавливалась так, чтобы какая-либо из ее легких осей была параллельна оси малых катушек.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Магнитооптические исследования проводились в пленке ферритов-гранатов состава  $(YLuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  с эффективным полем плоскостной анизотропии  $H_{кр} = 1100$  Э и намагниченностью насыщения  $M_S = 14$  Гс. В плоскости пленки имелась двухосная анизотропия с эффективным полем  $H_{K2} = 36$  Э и одноосная анизотропия с эффективным полем  $H_{K1} = 4$  Э. Толщина пленки  $h = 4$  мкм. Техническое насыщение пленки про-

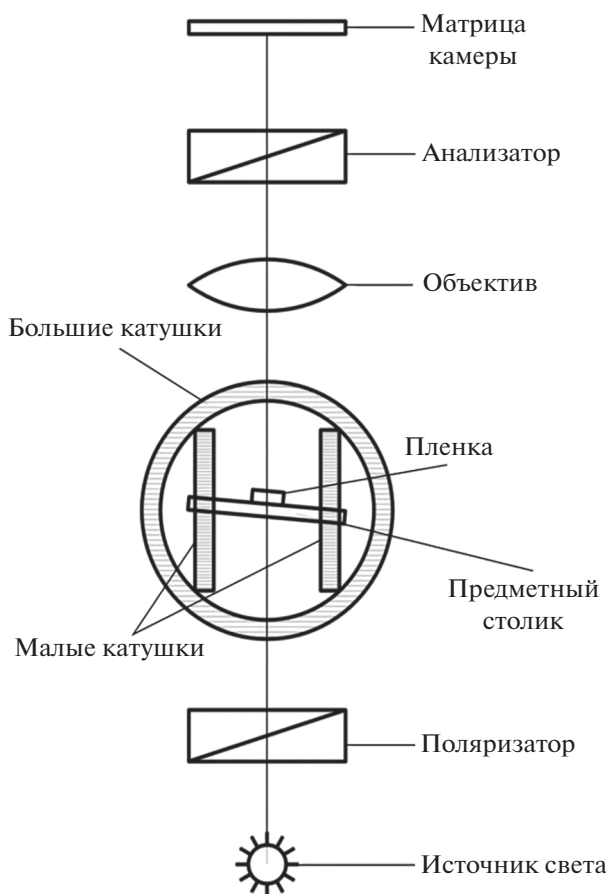


Рис. 1. Схема магнитооптической установки.

исходило в полях порядка  $H_{sat} = 2$  Э. Пленка имела форму неправильного четырехугольника со средними поперечными размерами  $\approx 1$  см.

В результате проведенных экспериментальных исследований в пленке были обнаружены различные доменные структуры. На рис. 2а представлена типичная доменная структура Ландау–Лифшица [8], состоящая из замыкающих доменов, которая для аналогичных пленочных материалов впервые зафиксирована в работе [7]. Стрелки показывают направления векторов намагниченности в замыкающих доменах. Доменные границы состоят из двух  $90^\circ$  и одной  $180^\circ$  доменных стенок.

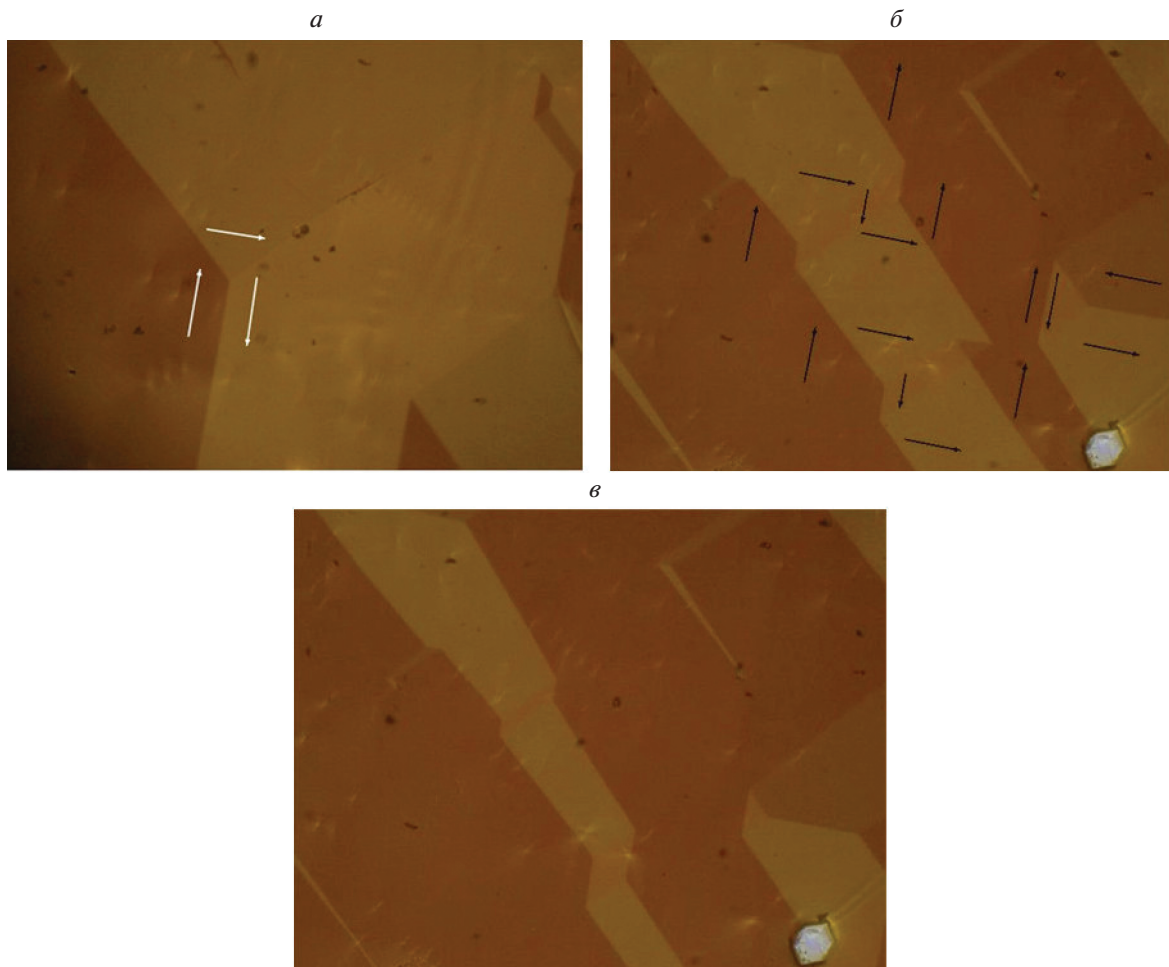
Отметим, что в отличие от классического случая, такие домены в рассматриваемом материале образуются не только вблизи границы пленки, но и вдали от границ. Это обусловлено наличием двухосной анизотропии, которая в данной пленке была, в частности, выявлена в экспериментах по скоростному динамическому намагничиванию [9, 10].

Фиксация таких доменов позволяет определять в пленке направление осей легкого намагничивания двухосной анизотропии.

На рис. 2б и 2в показана ленточная доменная структура при наличии разного внешнего поля: 0.08 и 0.32 Э (направленного вдоль вертикальной стороны рисунка). Стрелками указано направление векторов намагниченности в доменах. Доменные границы этой структуры в основном состоят из  $90^\circ$  доменных стенок. Имеются небольшие участки  $180^\circ$  стенок.

При увеличении внешнего поля от 0.08 до 0.32 Э происходит сужение ленточной структуры и расширение областей с энергетически выгодной ориентацией вектора намагниченности  $\vec{M}$  вдоль внешнего магнитного поля. Намагничивание происходит за счет движения доменных границ и является практически обратимым.

На рис. 3а показано изменение доменной структуры при возрастании внешнего магнитного поля от 0 до 0.9 Э (направленного вдоль горизон-



**Рис. 2.** Структура замыкающих доменов (стрелками обозначено направление векторов намагниченности в доменах) (а). Ленточная доменная структура с изломами, поле направлено вдоль вертикальной стороны рисунка: 0.08 (б), 0.32 Э (в).

тальной стороны рисунка). Видно, что при внешнем магнитном поле 0.9 Э участок пленки практически однородно намагничивается в горизонтальном направлении посредством движения доменных границ.

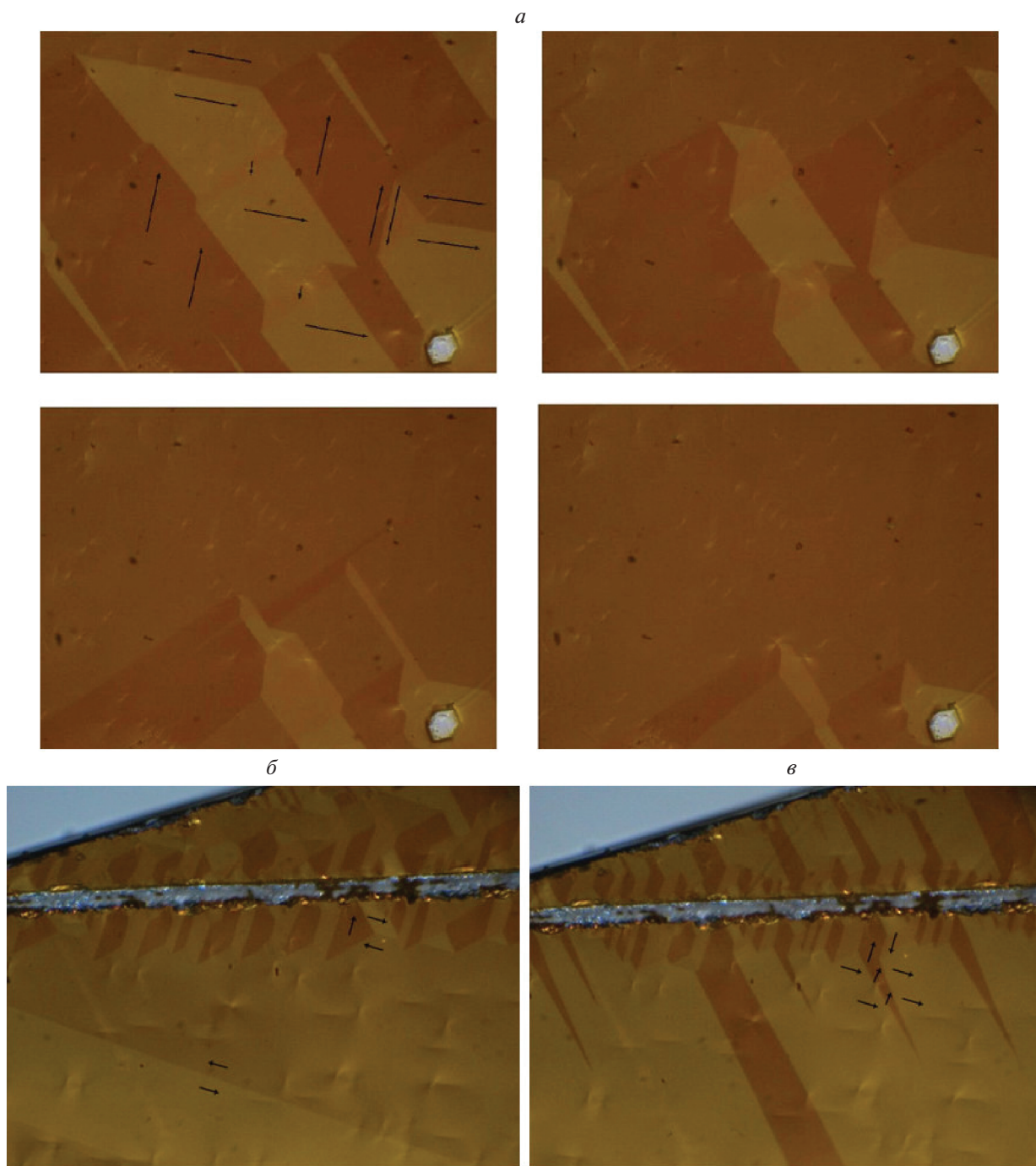
На рис. 3б представлена доменная структура вблизи царапины шириной порядка 100 мкм, которая в основном состоит из замыкающих доменов в полном соответствии с теорией Ландау–Лифшица [8]. В глубине пленки видна широкая полосовая доменная структура со  $180^\circ$  доменной стенкой.

На рис. 3в видны клиновидные домены, которые прорастают из замыкающих доменов при перемагничивании небольшим магнитным полем порядка 0.1 Э (направленного вдоль вертикальной стороны рисунка). Доменные границы клиновидных доменов состоят из  $90^\circ$  доменных стенок. Таким образом, в исследуемых пленках в слабых внешних полях возможны два механизма

намагничивания пленок: посредством движения доменных границ и посредством прорастания клиновидных доменов из замыкающих доменов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были выявлены особенности доменной самоорганизации в пленках ферритов-гранатов с плоскостной анизотропией и двухосной анизотропией в плоскости. Показано, что в таких материалах могут возникать полосовые доменные структуры со  $180^\circ$  доменными стенками, ленточные домены преимущественно с  $90^\circ$  доменными стенками, замыкающие домены Ландау–Лифшица и клиновидные домены с  $90^\circ$  доменными стенками. Установлено два механизма намагничивания пленок слабыми магнитными полями порядка 1 Э: посредством движения  $90^\circ$  и  $180^\circ$  доменных границ и



**Рис. 3.** Доменная структура при наличии внешнего магнитного поля с напряженностью 0, 0.3, 0.67 и 0.9 Э, направленного вдоль горизонтальной стороны рисунка (изображения слева направо и сверху вниз) (а). Доменная структура вблизи царапины шириной 100 мкм (б). Клиновидная доменная структура (в).

проращением клиновидных доменов из замыкающих доменов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hubert A., Schäfer R.* Magnetic domains. The analysis of magnetic microstructures. N.Y.: Springer Berlin Heidelberg, 2009. 707 p.
2. *Вонсовский С.В.* Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетиков. М.: Наука, 1971. 1032 с.
3. *Li Y., Xu Ke, Hu S., Suter J. et al.* // J. Phys. D. 2015. V. 48. No. 30. Art. No. 305001.
4. *Juanying J., Wang T., Ma T., Wang Y. et al.* // Nanoscale Res. Lett. 2017. V. 12. Art. No. 21.

5. *Ueltzhoffer T., Schmidt C., Krug I. et al.* // J. Appl. Phys. 2015. V. 117. No. 12. Art. No. 123904.
6. *Губернаторов В.В., Драгошанский Ю.Н., Сычева Т.С. и др.* // ФММ. 2012. Т. 113. № 9. С. 888; *Gubernatorov V.V., Dragoshanskii Yu.N., Sycheva T.S. et al.* // Phys. Met. Metallogr. 2012. V. 113. P. 843.
7. *Ильичева Е.Н., Дурасова Ю.А., Ильяшенко Е.И. и др.* // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. астрон. 2006. № 4. С. 30.
8. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Электродинамика сплошных сред. Теоретическая физика. М.: Наука, 1982. 620 с.
9. *Колотов О.С., Матюнин А.В., Николадзе Г.М. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 8. С. 1114; *Kolotov O.S., Matyunin A.V., Nikoladze G.M. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. No. 8. P. 1005.
10. *Колотов О.С., Матюнин А.В., Николадзе Г.М. и др.* // ФТТ. 2012. Т. 54. № 12. С. 2254; *Kolotov O.S., Matyunin A.V., Nikoladze G.M. et al.* // Phys. Sol. St. 2012. V. 54. No. 12. P. 2380.

## Effect of biaxial anisotropy on the domain structure in ferrite-garnet films with planar anisotropy

G. M. Nikoladze<sup>a</sup>, A. V. Matyunin<sup>a, \*</sup>, P. A. Polyakov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow, 119991 Russia*

*\*e-mail: physphak@mail.ru*

The magneto-optical studies that have significantly expanded the understanding of the stationary domain structure in ferrite-garnet films, in which, along with the presence of biaxial anisotropy, plane anisotropy is also present, are discussed in this paper. Two mechanisms of films magnetization by weak magnetic fields of the 1 Oe order were found: by moving the 90° and 180° domain boundaries and by sprouting wedge-shaped domains from the closing domains.