

ДОМЕНЫ

ДОМЕНЫ (от франц. domaine — владение; область, сфера), области химически однородной среды, отличающиеся электр., магн. или упругими свойствами, либо упорядоченностью в расположении частиц. Соответственно различают антиферромагн. и ферромагн. Д. (см. также Цилиндрические магнитные домены), сегнетоэлектр. Д., Д. Ганна, упругие Д., Д. в жидких кристаллах и др.

Домены ферромагнитные, области самопроизвольной намагниченности, намагниченные до насыщения части объёма ферромагнетика, на к-рые он разбивается ниже критич. темп-ры (см. Кюри точка). Векторы намагниченности Д. в отсутствии внеш. магн. поля ориентированы т. о., что результирующая намагниченность ферромагн. образца в целом, как правило, равна нулю.

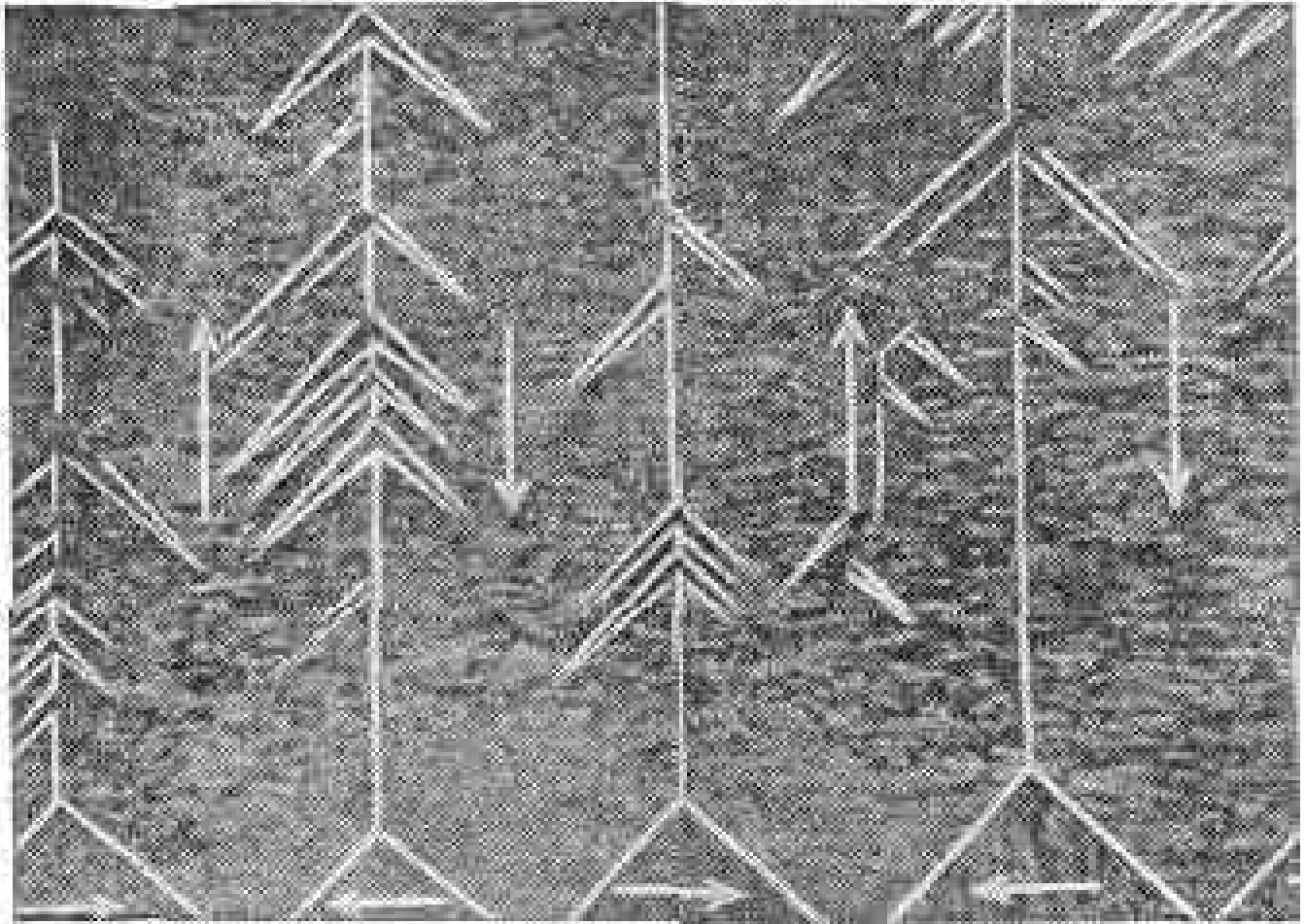


Рис. 1. Порошковые фигуры на поверхности кристалла кремнистого железа; видны границы доменов в объёме образца и замыкающих доменов у его поверхности. Стрелками показано направление намагниченности доменов.

Обычно Д. имеют размеры $\sim 10^{-3}$ — 10^{-2} см, они доступны непосредств. наблюдению (при помощи микроскопа): если покрыть поверхность ферромагнетика слоем суспензии, содержащей ферромагн. порошок, то ч-цы порошка осядут в основном на границах Д. и обрисуют их контуры (рис. 1). Широко применяют и др. методы исследования доменной структуры, в частности магнитооптический, обладающий большей разрешающей способностью (используют Керра эффект, Фарадея эффект и т. д.). Разбиение ферромагнетика на Д. объясняется след. причинами. Если бы весь ферромагнетик был намагничен до насыщения в одном направлении, то на его поверхности возникли бы магн. полюсы и в окружающем пр-ве было бы создано магн. поле. На это потребуется больше энергии, чем на разбиение ферромагнетика на Д., при к-ром магн. поле вне образца отсутствует (магн. поток замыкается внутри образца). При неизменном объёме и пост.

температура в ферромагнетике реализуются лишь такие доменные структуры, для которых свободная энергия минимальна.

Общим термодинамическим критерием равновесного распределения самопроизвольной намагниченности в ферромагнетике (его доменной структуры) является минимальное значение полного термодинамического потенциала ферромагнитного образца. Этот потенциал сложно зависит от внешних условий — температуры, упругих напряжений, внешнего электромагнитного поля, структурного состояния образца, его формы и размеров. Из-за сложности определения термодинамического потенциала в общем случае задача о доменной структуре решается последовательным расчётом отдельных элементов доменной структуры (граничных слоев между доменами, внутренних дефектов и т. д.). Направление векторов намагниченности в доменах обычно совпадает с направлением осей лёгкого намагничивания. В этом случае для ферромагнетика выполняется условие минимума энергии магнитной анизотропии. При уменьшении размеров ферромагнетика до некоторой критической величины разбиение на домены может стать энергетически невыгодным, образуется так называемая однодоменная структура: каждая ферромагнитная частица представляет собой один домен. На практике это реализуется в ферромагнитных порошковых материалах в ряде гетерогенных сплавов (см. Магнитные материалы, Однодоменные Ферромагнитные частицы).

А. В. Ведяев, В. Е. Роде.

Домены сегнетоэлектрические, области однородной спонтанной поляризации в сегнетоэлектриках. Размеры доменов обычно $\sim 10^{-5}$ — 10^{-3} см. Домены разделены переходной областью (доменная граница или стенка) толщиной 10^{-5} — 10^{-7} см.

На поверхности кристалла доменов можно наблюдать методами травления и порошков (скорости травления и осаждения мелких частиц в местах выхода на поверхность различно поляризованных доменов различны). Оптические методы наблюдения основаны на том, что в разных доменах некоторые оптические постоянные кристалла могут иметь противоположные знаки (например, угол Брюстера составляет главный ось эллипсоида показателей преломления света с плоскостью домена)

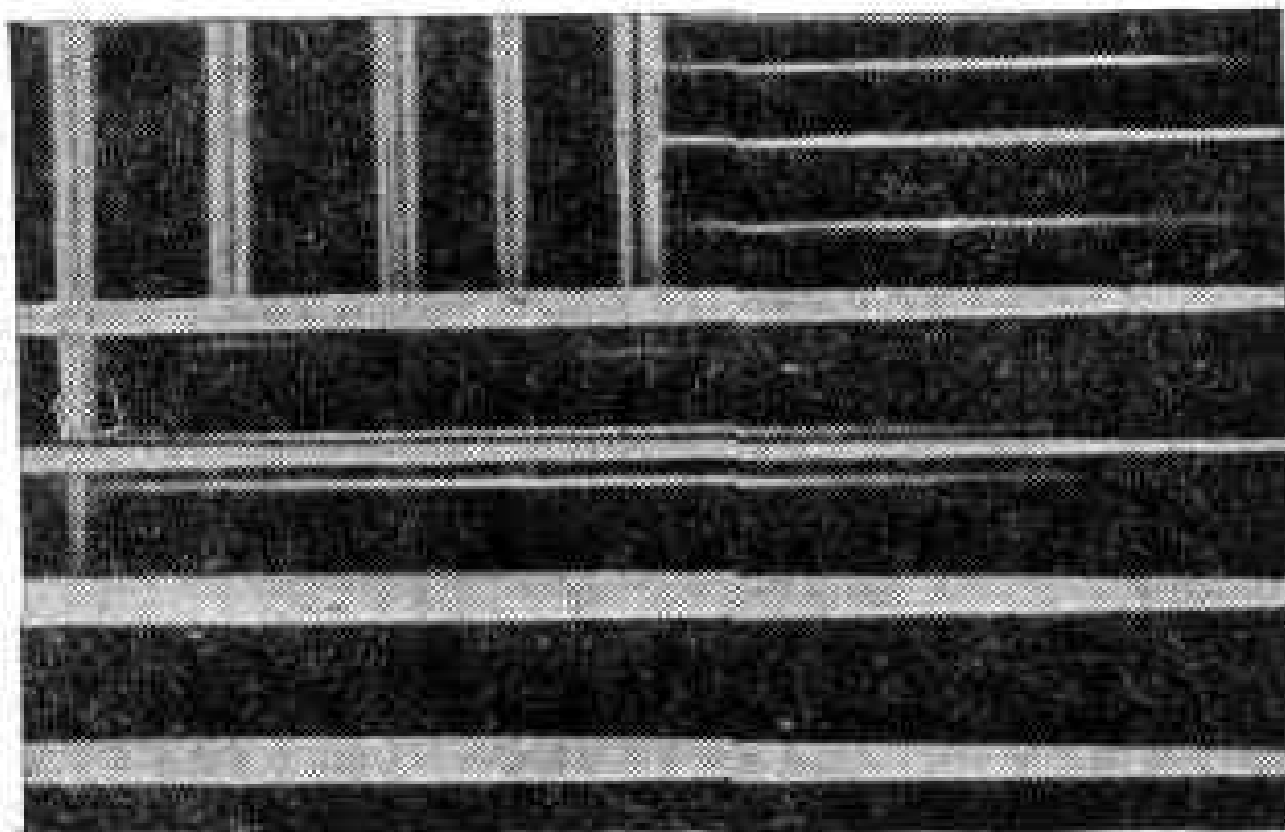


Рис. 2. Микрофотография доменов сегнетовой соли в поляризованном свете. Тёмные и светлые области соответствуют доменам с противоположным направлением спонтанной поляризации, перпендикулярной к плоскости рисунка.

менной границы; см. Кристаллооптика). В поляризов. свете одни Д. выглядят светлее, другие — темнее (рис. 2). Различие оптич. свойств Д. можно вызвать искусственно, прикладывая к кристаллу внеш. электрич. поле или упругие напряжения. Домены Ганна, области с разным уд. электрич. сопротивлением и разной напряжённостью электрич. поля, на к-рые расслаивается однородный полупроводник с N-образной вольт-амперной хар-кой в достаточно сильном внеш. электрич. поле (см. Ганна эффект).

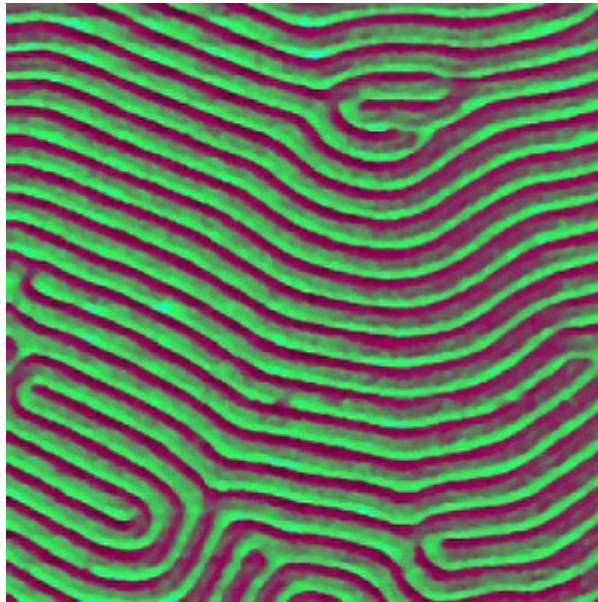
• *См. лит. при ст. Ферромагнетизм, Сегнетоэлектрики, Ганна эффект.*

Название: Magnetic domains of garnet film

Магнитно-силовое производное распределение(сдвиг по фазе) пленки граната. Полоса периода структуры домена около 2мкм. Изображение получено по двухпроходной методики.

Образец предоставлен В.А. Скидановым, Elma, Москва, Россия.

А.М. Алексеев и др., ежегодное издание Новые Магнитные Материалы для Микроэлектроники 17, Московский Государственный Университет, 2000, 467-469.



СЗМ метод: Д МСМ

Размер: 44x44 мкм

Частота: 180

Магнитно-силовое производное распределение(сдвиг по фазе) пленки граната. Полоса периода структуры домена около 2мкм. Изображение получено по двухпроходной методики.

Образец предоставлен В.А. Скидановым, Elma, Москва, Россия.

А.М. Алексеев и др., ежегодное издание Новые Магнитные Материалы для Микроэлектроники 17, Московский Государственный Университет, 2000, 467-469.

Магнитно-силовая Микроскопия (МСМ) [1, 2] является эффективным средством исследований магнитных структур на субмикронном уровне. Получаемы с помощью МСМ изображения являются пространственным распределением некоторого параметра, характеризующего магнитное взаимодействие зонд-образец, например, силу взаимодействия, амплитуду колебаний магнитного зонда и т.д. Магнитный зондовый датчик является стандартным кремниевым (или изготовленным из нитрида кремния) зондовым датчиком, покрытым пленкой из магнитного материала. МСМ измерения позволяют проводить исследования магнитных доменных структур с высоким пространственным разрешением, записи и считывания информации в магнитной среде, процессов перемагничивания и т.д.

При проведении магнитных исследований на субмикронном уровне прежде всего необходимо отделить «магнитные» изображения от изображений рельефа. Для решения этой проблемы магнитные измерения проводятся по двухпроходной методике. На первом проходе определяется рельеф поверхности по Контактному или Прерывисто-контактному ("полуконтактному") методам. На втором проходе каждой линии сканирования (или изображения в целом) кантилевер приподнимается над поверхностью и сканирование осуществляется в соответствии с запомненным рельефом. В результате на втором проходе расстояние между сканируемой поверхностью и закрепленным концом кантилевера поддерживается постоянным. При этом расстояние зонд-поверхность должно быть достаточно большим, чтобы пренебречь силами Ван-дер-Ваальса, так что на втором проходе кантилевер подвергается воздействию только дальнедействующей магнитной силы. В соответствии с этим методом и изображение рельефа и магнитное изображение могут быть получены одновременно.

В динамической МСМ (Д МСМ) на втором проходе для детектирования магнитного поля используется колеблющийся с резонансной частотой кантилевер (как при использовании Бесконтактного или Прерывисто-контактного методов). В Д МСМ детектируется производная магнитной силы: производная силы в приближении точечного диполя может быть представлена в виде:

$$F' = n \operatorname{grad}(n F), F = (m \operatorname{grad}) H$$

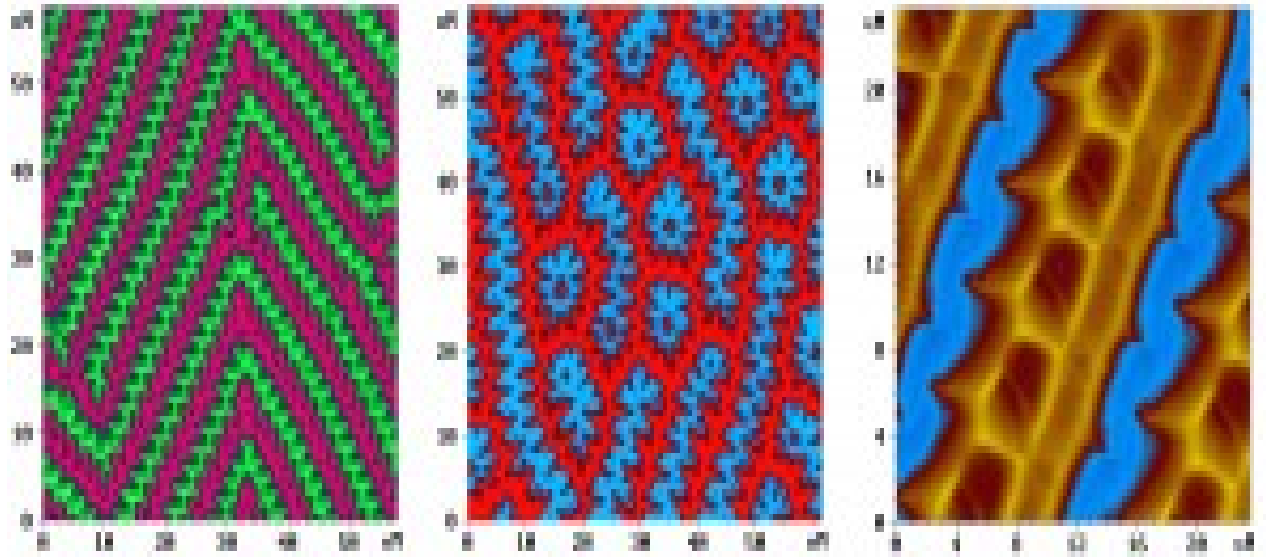
n – единичный вектор нормали к плоскости кантилевера. Как видно из этого выражения сигнал Д МСМ пропорционален второй производной поля рассеяния.

Ссылки

Appl. Phys. Lett. 50, 1455 (1987).

J. Appl. Phys. 62, 4293 (1987).

Magnetic domains of Yttrium Iron Garnet



Magnetic structures of permalloy

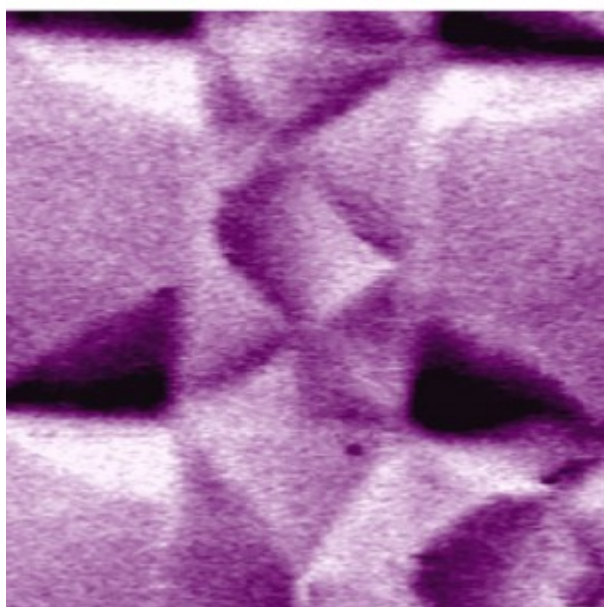
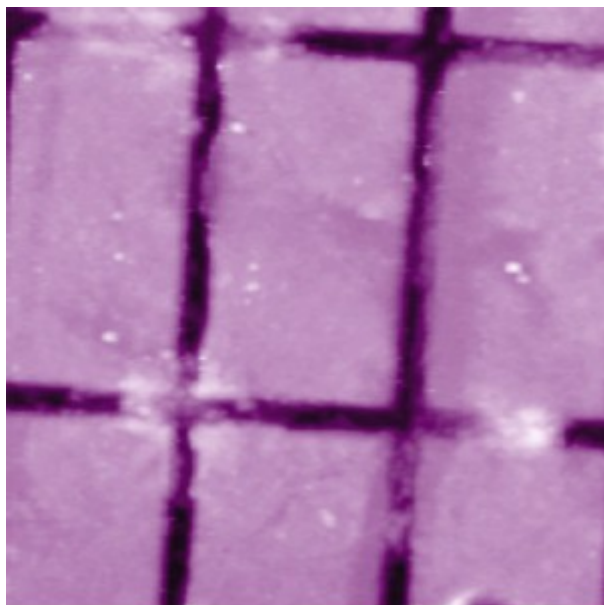
Название: Magnetic structures of permalloy

MDT-файл: magnetic_structures_of_permalloy.mdt (256.66 Kb)

Сверху изображение рельефа тонкой пленки пермалловых прямоугольников, изображение снизу демонстрирует соответствующий домен структуры.

Образец предоставлен Dr. B. Hillebrands,

Dr. S. Demokritov, the Magnetism group of the Physical faculty of the University Kaiserslautern, Германия.



СЗМ метод: Д МСМ

Размер: 3x3 μm

Частота: 126

Сверху изображение рельефа тонкой пленки пермалловых прямоугольников, изображение снизу демонстрирует соответствующий домен структуры.

Образец предоставлен Dr. B. Hillebrands,

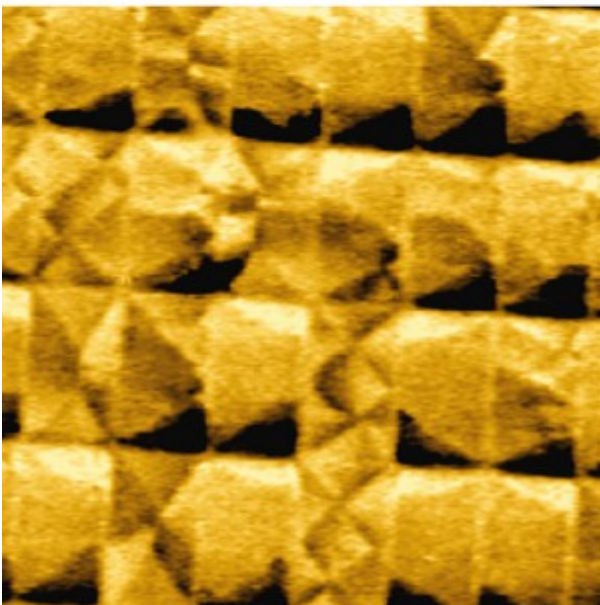
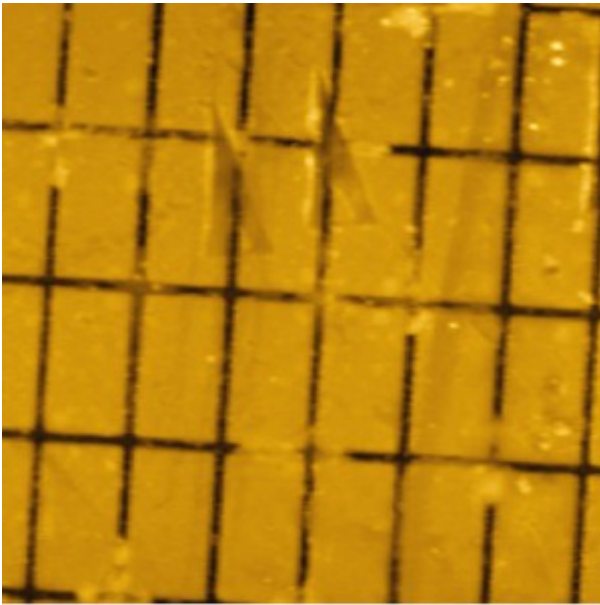
Dr. S. Demokritov, the Magnetism group of the Physical faculty of the University Kaiserslautern, Германия.

Magnetic structures of permalloy

Название: Magnetic structures of permalloy

Сверху рельеф, снизу МСМ изображение тонкой пленки пермаллоевых прямоугольников. Магнитное изображение показывает необычный домен структуры в прямоугольниках. Этот скан демонстрирует удачное изображение мягких магнитных материалов подобных пермаллою.

Образец предоставлен В. Hillebrands, Dr. S. Demokritov, the Magnetism group of the Physical faculty of the University Kaiserslautern, Germany.



СЗМ метод: Д МСМ

Частота: 126

Сверху рельеф, снизу МСМ изображение тонкой пленки пермаллоевых прямоугольников. Магнитное изображение показывает необычный домен структуры в прямоугольниках. Этот скан демонстрирует удачное изображение мягких магнитных материалов подобных пермаллою.

Образец предоставлен В. Hillebrands, Dr. S. Demokritov, the Magnetism group of the Physical faculty of the University Kaiserslautern, Germany.

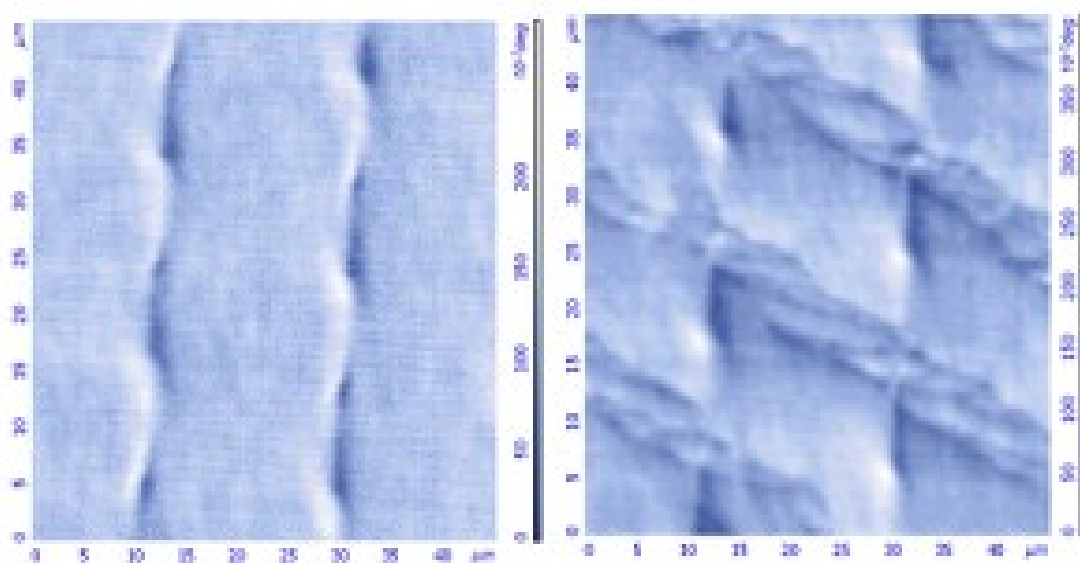
Магнитные биты

Название: Магнитные биты

MDT-файл: cobalt_magnetic_elements.mdt (513.28 Kb)

Магнитно-силовое изображение магнитных битов размером 10×20 мкм² с подслоем кобальта толщиной 50 нм после намагничивания внешним полем: слева – вдоль длинной стороны битов, справа – вдоль короткой стороны битов. Толщина исходного оксида – 80 нм. Кобальтовые биты получены облучением оксида кобальта протонами через маску из фоторезиста. Наблюдение проводилось без удаления маски. Изображения показывают различие в намагничивании анизотропных структур вдоль и поперек длинной стороны. Также видна связь магнитной структуры соседних битов.

Изображение получено Маслаковым Константином, Российский научный центр "Курчатовский институт", Россия.



СЗМ метод: ДМСМ

Размер: 50×50 мкм

Магнитно-силовое изображение магнитных битов размером 10×20 мкм² с подслоем кобальта толщиной 50 нм после намагничивания внешним полем: слева – вдоль длинной стороны битов, справа – вдоль короткой стороны битов. Толщина исходного оксида – 80 нм. Кобальтовые биты получены облучением оксида кобальта протонами через маску из фоторезиста. Наблюдение проводилось без удаления маски. Изображения показывают различие в намагничивании анизотропных структур вдоль и поперек длинной стороны. Также видна связь магнитной структуры соседних битов.

Изображение получено Маслаковым Константином, Российский научный центр "Курчатовский институт", Россия.

Кобальтовые полоски

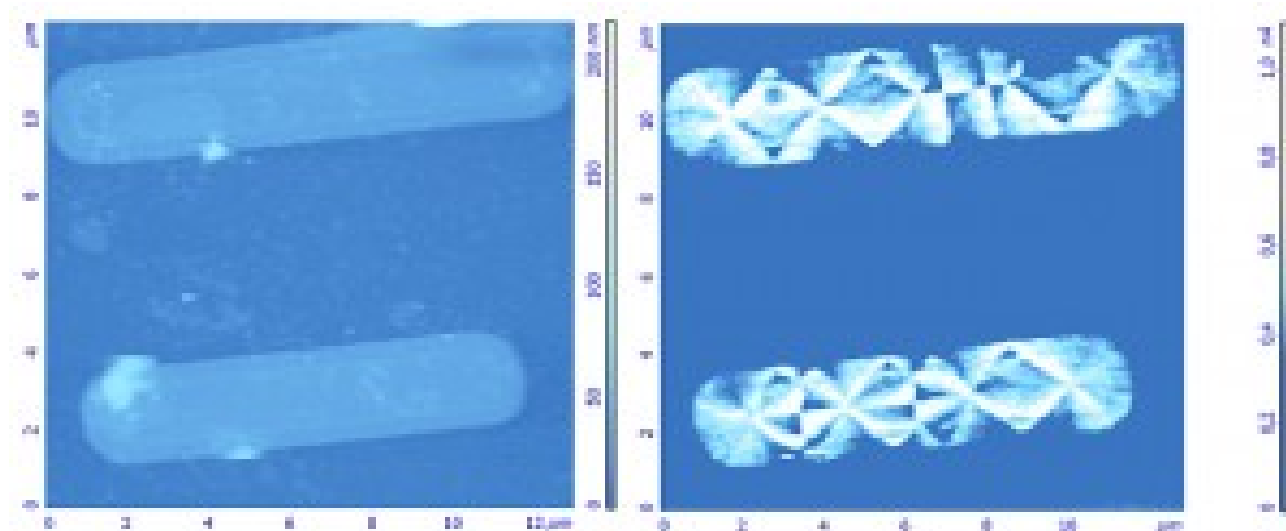
Название: Кобальтовые полоски

MDT-файл: cobalt_stripes.mdt (332.17 Kb)

Изображение высоты (слева) и магнитное изображение (справа) кобальтовых полосок. Магнитное изображение показывает многодоменную структуру объектов.

Изображение получено Кузнецовым Е, НТ-МДТ, Россия, Москва.

Образец представлен ГосНИИ Физических Проблем, Москва, Зеленоград.



СЗМ метод: Д МСМ

Размер: 13x13 μm

Изображение высоты (слева) и магнитное изображение (справа) кобальтовых полосок. Магнитное изображение показывает многодоменную структуру объектов.

Изображение получено Кузнецовым Е, НТ-МДТ, Россия, Москва.

Образец представлен ГосНИИ Физических Проблем, Москва, Зеленоград.