

05.2;06;11;12

Влияние трибоэлектрической обработки на коэрцитивность магнитных пленок

© А.Ю. Топоров, В.А. Ключев, М.В. Валеико

Институт общей физики РАН, Москва
Институт физической химии РАН, Москва

Поступило в Редакцию 6 сентября 1996 г.
В окончательной редакции 10 марта 1997 г.

Описаны результаты исследования влияния трибоэлектрических полей, сопровождающих процесс полировки изделий мехом, на свойства магнитных пленок. Обнаружено, что у диэлектрических пленок висмутсодержащего феррит-граната, несмотря на уменьшение дефектности кристаллической структуры, наблюдается увеличение коэрцитивности, обусловленное, по-видимому, электромагнитным эффектом.

Известно, что возникающие при трении диэлектриков в вакууме трибоэлектрические поля могут приводить к электрической эрозии трущихся поверхностей. При определенной конфигурации пары трения наблюдается электроэрозионное сглаживание поверхности, что послужило основой создания нового способа обработки поверхностей диэлектриков и полупроводников — трибоэлектрической полировки [1]. При использовании этого способа обработки поверхность обрабатываемого изделия подвергается воздействию мягкого ворсистого материала, наклеенного на цилиндрическую поверхность быстро вращающегося ролика.

Специальные опыты показали, что возникающие при этом в вакууме трибоэлектрические поля настолько велики, что приводят не только к электроэрозионному сглаживанию микрорельефа (до степеней, недоступных другим известным методам полировки), но и вызывают изменение структуры, в частности дефектности приповерхностных слоев материала обрабатываемых поверхностей [2].

Уменьшение дефектности структуры после указанной обработки наблюдалось на многих диэлектрических и полупроводниковых материалах (стекле, кварце, кремнии и т.д.). При этом обнаруженная методами экзоэлектронной эмиссии и двухкристальной рентгеноסקопии пониженная дефектность, в частности кремниевых пластин, обработан-

ных трибоэлектрическим способом, проявилась и при изготовлении на их основе полупроводниковых приборов, показавших при заводских испытаниях улучшенные свойства [2].

Механизм уменьшения дефектности обусловлен воздействием на материал электрических полей высокой напряженности. Уменьшение дефектности в случае диэлектрических магнитных материалов должно приводить к уменьшению их коэрцитивности [3].

Поскольку направленное изменение магнитных свойств материалов представляется очень важным для техники, была поставлена задача выяснить возможность изменения коэрцитивности магнитных пленок с помощью трибоэлектрической обработки.

Исследование влияния трибоэлектрической обработки проводилось на Vi -содержащих легкоплоскостных феррит-гранатовых пленках (Vi -ФГП), выращенных методом жидкофазной эпитаксии на подложках галлий-гадолиниевого граната с ориентацией (III). Толщина пленок составляла 1–4 μm .

Трибоэлектрическая обработка осуществлялась роликом, покрытым (для уменьшения механического воздействия на пленку) мягким натуральным мехом, касавшимся поверхности пленки практически без прижима. Скорость скольжения ворса на поверхности пленки составляла 13 m/s. Время обработки не превышало 1 h.

Изменение магнитных свойств под влиянием трибоэлектрической обработки оценивалось по изменению величины коэрцитивности материала пленки. Коэрцитивность определялась магнитооптическим методом с использованием эффекта Фарадея. Регистрация петель гистерезиса пленок в исходном состоянии и после трибоэлектрической обработки осуществлялась на установке, описанной в работе [4].

Исследования показали, что под влиянием трибоэлектрической обработки происходят значительные изменения коэрцитивности материала образцов. Как правило, величина коэрцитивности возрастает. Трибоэлектрическая обработка приводит к сильному изменению формы петель гистерезиса; наблюдается уширение петли и увеличение ее прямоугольности. В качестве примера на рис. 1 приведены гистерезисные кривые процесса перемагничивания Vi -ФГП толщиной 2 μm до и после трибоэлектрической обработки. Анализ формы петель гистерезиса свидетельствует о том, что анизотропность магнитных свойств материала в плоскости сохраняется. После трибоэлектрической обработки наблюдается некоторое уменьшение дефектности кристаллической структуры.

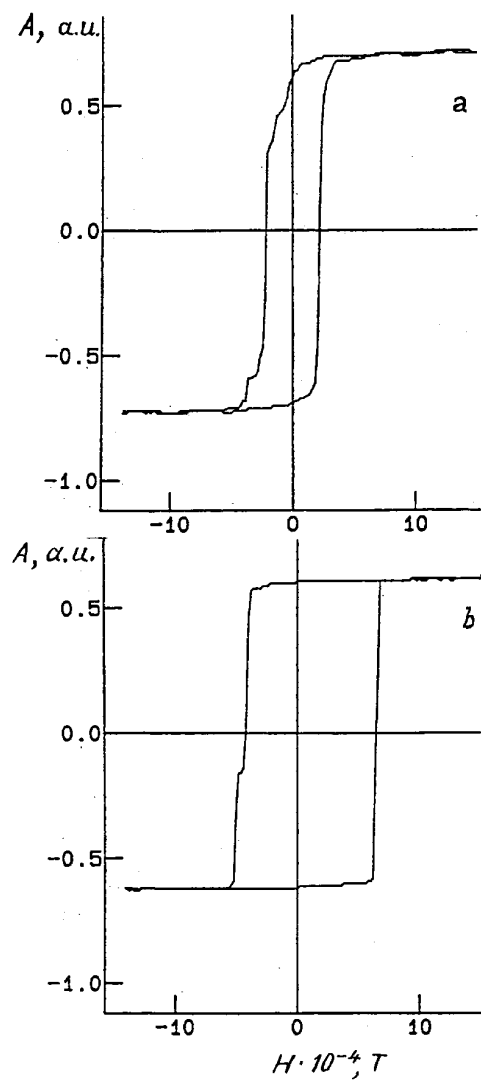


Рис. 1. Кривые перемагничивания Bi-содержащей феррит-гранатовой пленки вдоль оси легкого намагничивания до трибоэлектрической обработки (*a*) и после нее (*b*).

Следует отметить, что указанный результат наблюдается только при осуществлении процесса трибоэлектрической обработки в достаточно высоком вакууме ($> 10^{-4}$ mm Hg). При тех же режимах трения на воздухе заметного изменения коэрцитивности не наблюдается. Это связано с тем, что процесс электризации в вакууме протекает более интенсивно и сопровождается возникновением более мощных электрических полей, чем при трении на воздухе.

Таким образом, эксперименты показали, что, несмотря на наблюдаемое уменьшение дефектности структуры Vi-ФГП, трибоэлектрическая обработка тем не менее сопровождается увеличением коэрцитивности материала. Поскольку температура образцов при полировке не превышала 80°C , то влиянием нагрева на изменение магнитных характеристик Vi-ФГП можно пренебречь.

Естественным объяснением наблюдаемого повышения коэрцитивности может быть проявление магнитоэлектрического эффекта [5] за счет электретирирования пленок и индуцирования в объеме электрических полей.

Инжекция электрических зарядов при трении в объем пленки, захват их на ловушках-дефектах, дрейф заряженных дефектов на границу раздела пленка–подложка приводят к тому, что даже после прекращения процесса трения в объеме пленки сохраняется внутреннее электрическое поле, обуславливающее магнитоэлектрический эффект. Отметим, что обнаруженное ранее изменение коэрцитивности Vi-ФГП после их обработки в коронном разряде также объяснялось магнитоэлектрическим эффектом [6]. Следует подчеркнуть, что исключение из рассмотрения чисто механического воздействия меха на поверхность при использовании трибоэлектрической обработки возможно лишь для достаточно твердых материалов, каким является Vi-ФГП. Для менее твердых и тем более электропроводящих материалов влияние механического воздействия может оказаться определяющим. Наглядным примером могут служить результаты обработки вращающимся роликом пленок аморфного магнетика общего состава FeCoNiSiB, нанесенных лазерным распылением на поверхность подложек из стекла и кремния по методу, описанному в [4] (толщина пленок 10–1000 Å).

На рис. 2 приведены гистерезисные кривые до и после обработки пленки толщиной 1000 Å. Видно, что здесь также наблюдается увеличение коэрцитивности. Поскольку электретирирования и образования внутреннего электрического поля в проводящих материалах не

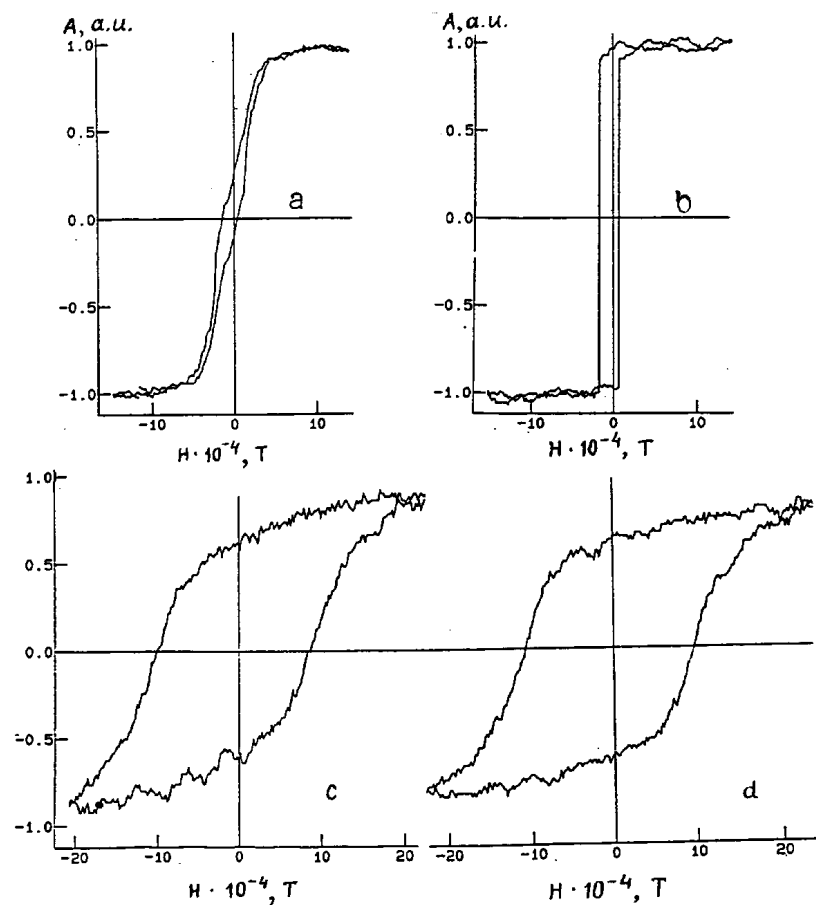


Рис. 2. Кривые перемагничивания пленки FeCoNiSiB вдоль оси легкого (*a, c*) и тяжелого намагничивания (*b, d*) до (*a, b*) и после трибоэлектрической обработки (*c, d*).

происходит, а анализ кривых гистерезиса позволяет утверждать об увеличении степени дефектности пленки, то наблюдаемое изменение коэрцитивности связано, очевидно, с чисто механическим воздействием на поверхность пленки. Об этом, кстати, свидетельствует наблюдаемое

полное исчезновение анизотропии пленки (изотропность петель гистерезиса в легкой и тяжелой осях).

Таким образом, наблюдаемое в этом случае изменение магнитных свойств обусловлено появлением при трении пленок о мех дополнительных дефектов, увеличивающих пиннинг доменных границ.

Следует отметить, что способ трибоэлектрической обработки вообще не применим к поверхностям проводящих материалов. При этом не удастся реализовать режим электроэрозионной полировки и не наблюдается уменьшения дефектности структуры приповерхностных слоев обработанных изделий.

В целом результаты работы показали, что при использовании трибоэлектрической обработки для изменения магнитных свойств магнитных диэлектриков и полупроводников необходимо учитывать и влияние их электретизации, приводящей к магнитоэлектрическому эффекту.

Работа выполнена в значительной мере благодаря финансовой поддержке РФФИ, грант № 95–03–04766.

Список литературы

- [1] *Клюев В.А.* и др. Авт. свид. СССР № 643302. М кл. В 241 // Бюл. откр. и изобр. 1979. № 3. С. 45.
- [2] *Клюев В.А., Колобов М.А., Топоров Ю.П.* и др. // Электрон. пром. 1991. № 7. С. 46–48.
- [3] *Мишин Д.Д.* Магнитные материалы. М.: Высш. шк., 1991. 383 с.
- [4] *Никитин П.И., Валейко М.В., Горбанадзе А.М.* и др. // Квант. электрон. 1996. Т. 23. № 4. С. 383–384.
- [5] *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.И.* Электродинамика сплошных сред. М.: Гостехиздат, 1957. 327 с.
- [6] *Костишин В.Г., Летюк Л.М.* // ЖТФ. 1995. Т. 65. В. 7. С. 179–183.