

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

А. А. ЕДИГАРЯН, М. В. ПАПЯН, Т. А. ПОГОСЯН

Изучено влияние условий термоманитной обработки на магнитные свойства электролитических ферромагнитных пленок. Пленки осаждены на покровные стекла с проводящим слоем хрома толщиной $500 \text{ \AA}$, полученным вакуумным напылением.

Рассматривается влияние термообработки на коэрцитивную силу (H_c), поле анизотропии (H_k) и прямоугольность (K_r).

Исследование термоманитной обработки электролитических ферромагнитных пленок представляет большой теоретический и практический интерес. Как известно, термоманитная обработка приводит к стабилизации магнитных свойств пленок [1], позволяет воздействовать на магнитные параметры пленок (коэрцитивную силу, поле анизотропии, угловую дисперсию и др.) в заданном направлении.

Впервые о влиянии термоманитной обработки на свойства тонких ферромагнитных пленок состава Fe—Ni сообщили Вилиам и Шервуд [2]. Они установили, что при наложении магнитного поля в 200 э в направлении трудного намагничивания при температуре 300°C направление анизотропии пленок изменяется. То обстоятельство, что тонкие пленки более чувствительны к термоманитной обработке, чем объемные материалы, авторы объяснили наличием дефектов в кристаллах (дислокаций, вакансий), а также присутствием газов в осажденной пленке.

В одной из ранних работ по термоманитной обработке пленок Митчел [3] показал, что при отжиге (300°C) вакуумных пленок состава Ni—Fe (81/19) в инертной среде (силиконовое масло) с полем, приложенным вдоль трудной оси намагничивания, H_k пленок уменьшается, петля гистерезиса расширяется, а H_c практически не меняется. Выше 300°C пленки ориентировались в направлении внешнего поля.

Аналогичные результаты были получены рядом авторов [4, 5, 6].

Коэн [7], Гринберг и Коростов [8] изучили влияние термоманитной обработки на H_c , H_k , а также на угловую дисперсию анизотропии. Ими было показано, что при термоманитной обработке вдоль трудной оси пленок в интервале температур $50\text{—}350^\circ\text{C}$ H_k уменьшается, H_c остается постоянной, а угловая дисперсия резко возрастает, начиная с температуры 250°C .

Некоторые авторы пытаются объяснить механизм термообработки ферромагнитных пленок [5, 6]. В этих работах высказывается пред-

положение об образовании сверхструктуры Ni—Fe в пленках, приводящей к увеличению угловой дисперсии анизотропии и уменьшению H_k . При этом полагают, что часть направленных пар атомов железа переходит в узлы решетки, увеличивая дальний порядок, в связи с чем уменьшается вклад направленных пар железа в анизотропию, а вместе с ним и H_k .

Во всех приведенных выше работах были исследованы пленки, полученные вакуумным напылением. По термообработке пленок, полученных электролитическим осаждением, было исследовано влияние температуры на магнитные свойства пленок в интервале температур 150—300°C при приложении поля в направлении легкого намагничивания. При этом показано, что в интервале температур 200—350°C уменьшается как угловая дисперсия анизотропии пленок, так и разброс угла легких осей пленок. Однако поведение электролитических пленок при термообработке в направлении оси трудного намагничивания в большом интервале температур не изучено.

В настоящей работе исследовалось влияние термомагнитной обработки на магнитные свойства электролитических пленок в широком интервале температур при различных направлениях и значениях приложенного внешнего поля.

Образцы и методы исследования

Исследовались образцы пленок, полученных методом электролитического осаждения, состава 81% Ni, 19% Fe, с практически нулевой магнитострикцией. Пленки получались в виде отдельных пятен диаметром 10 мм, толщиной 1500—2000 Å на стеклянной подложке размером 18 × 18 мм, покрытой проводящим слоем хрома (вакуумное напыление).

Основные магнитные параметры (поле анизотропии H_k , коэрцитивная сила H_c в направлении легкой оси, коэрцитивная сила $H_{c\perp}$ в направлении трудного намагничивания, коэффициент K_1 прямоугольности петли в направлении трудного намагничивания до и после термообработки) измерялись на феррографической установке при частоте 500 ц. Угловая дисперсия анизотропии и разброс осей измерялись на установке с использованием эффекта Керра следующим образом. Пленку насыщали в направлении трудного намагничивания и вблизи него полями, большими $2 H_k$. Сектор углов, в котором пленка после насыщения разбивается на узкие домены, принимался за угол дисперсии 2α .

В некоторых из исследуемых образцов угловая дисперсия анизотропии измерялась также и методом Кроутера [9], однако для нашего случая он не является подходящим, так как при последовательных измерениях дисперсии после серии термообработок невозможно выбрать один и тот же участок пленки для измерения. Кроме того, известно, что данный метод дает для пятен с большим диаметром за-

вышенные значения угловой дисперсии анизотропии по сравнению с методом, основанным на меридианальном эффекте Керра.

Термомагнитная обработка проводилась на специальной вакуумной установке, обеспечивающей остаточное давление $2 \cdot 10^{-5}$ мм Hg. Образцы пленок помещались в держатель с шестью кассетами друг под другом. Нагрев пленок осуществляется нагревателем, помещенным под держателем образца. Нагревательные элементы располагались таким образом, что созданное ими магнитное поле было параллельно внешнему полю. Максимальная напряженность магнитного поля составляла 500 э. При измерении температуры выяснилось, что имеется большой градиент температуры между кассетами, поэтому измерение температуры проводилось на всех кассетах термопарой медь—константан. Это дало возможность оценить температуру термообработки каждой пленки с точностью до $15\text{--}20^\circ\text{C}$. Термообработка пленок была проведена в интервале температур $80\text{--}380^\circ\text{C}$. Продолжительность термообработки 30 мин. Охлаждение пленок после термообработки всегда происходило в печи в приложенном поле.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Термообработка по оси трудного намагничивания

Термообработка по оси трудного намагничивания может быть разделена на две области: низкотемпературную (до 200°C) и высокотемпературную (выше 200°C). Такое разделение вызвано тем, что поведение пленок в этих двух областях различно. В первой области по мере повышения температуры происходит „разрушение“ анизотропии пленок: к 200°C пленки становятся изотропными с очень высоким значением угловой дисперсии анизотропии. Во второй области начинается оформление новой оси легкого намагничивания пленки вдоль приложенного магнитного поля, что сопровождается уменьшением угловой дисперсии анизотропии. На рис. 1, 2, 3 приведены графики зависимости магнитных параметров от температуры в низкотемпературной области термообработки. Как видно из этих графиков, по мере увеличения температуры термообработки происходит уменьшение H_k примерно до величины 2э. При этом также уменьшается H_{c1} , приближаясь к значению 2э. Таким образом получаются пленки с $H_{c1} = H_k$ без нарушения анизотропии пленок при температурах $130\text{--}150^\circ\text{C}$. Коэффициент прямоугольности петли гистерезиса в направлении трудного намагничивания в рассматриваемом интервале температур растет, начиная от самой низкой температуры термообработки. Очевидно, это связано с ростом отношения $\frac{H_c}{H_k}$ [10].

Угловая дисперсия анизотропии вплоть до температуры 130° не изменяется. Увеличение угловой дисперсии наблюдается, начиная от температуры 130°C , причем это увеличение довольно резкое.

Интересно отметить, что если эти пленки подвергнуть снова термообработке в направлении легкого намагничивания, но уже при более высокой температуре, то исходные значения всех параметров, в том числе и величина угловой дисперсии анизотропии, полностью восстанавливаются.

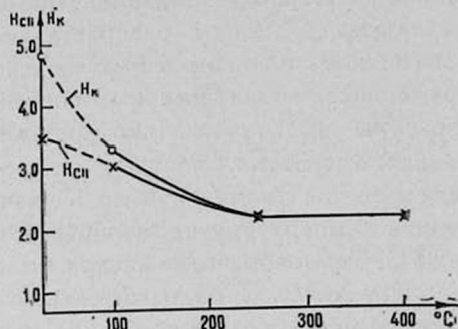


Рис. 1. Зависимость H_k и H_{cn} пленок от температуры термообработки.

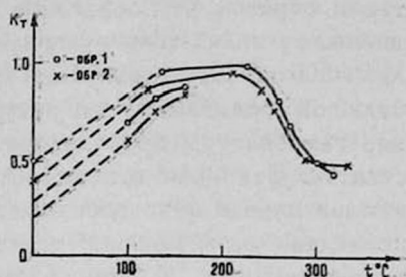


Рис. 2. Зависимость коэффициента прямоугольности петли гистерезиса по трудной оси намагничивания от температуры.

При дальнейшем повышении температуры термообработки (высокотемпературная область—выше 200°C) наступает поворот оси анизотропии на 90° , т. е. исходные оси легкого и трудного намагничивания меняются местами. Этот поворот происходит, начиная от температуры $230\text{--}260^\circ\text{C}$. Пленка перед этим поворотом, как было отмечено, становится изотропной с очень большой угловой дисперсией анизотропии. При дальнейшей термообработке (уже в направлении новой легкой оси) угловая дисперсия уменьшается и, если температура термообработки достигнет 350°C , может дойти до исходных значений. Аналогичные явления наблюдаются и для других параметров (рис. 2, 4), кроме H_k , значение которого остается несколько заниженным.

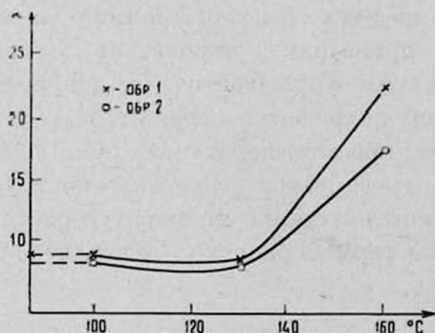


Рис. 3. Изменение угловой дисперсии анизотропии от температуры термообработки.

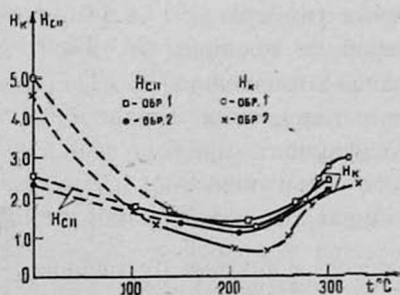


Рис. 4. Зависимость H_c и H_k от температуры термообработки по трудной оси.

2. Термообработка в направлении оси легкого намагничивания

Результаты термомагнитной обработки в направлении оси легкого намагничивания показаны на рис. 5. Как видно из рисунка, вплоть до температуры 350° магнитные параметры H_{c1} , H_k и H_t практически не изменяются, однако разброс легких осей и угловая дисперсия анизотропии заметно уменьшаются. При температурах выше 360° наблюдается увеличение H_k и H_{c1} . Если вначале вести термообработку в направлении трудного намагничивания в условиях, приводящих к повороту легкой оси ($230-250^\circ\text{C}$), а затем в направлении легкого намагничивания, то ось анизотропии снова возвращается в свое первоначальное положение, но при этом значение H_k остается несколько заниженным. Предварительная же термообработка в направлении легкого намагничивания при упомянутой температуре затрудняет поворот оси анизотропии. Этот поворот происходит уже при более высокой температуре.

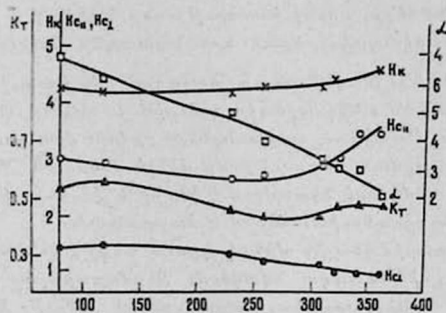


Рис. 5. Изменение магнитных параметров пленок от температуры термообработки - вдоль легкой оси намагничивания.

3. Влияние величины поля термообработки

В литературе высказывается мнение, что поле в два-три раза большее H_k является достаточным для термообработки и дальнейшее увеличение поля существенно не влияет на результаты.

Нами была проведена серия термообработок при различных величинах приложенного поля в интервале $50-500$ э и оказалось, что изменения магнитных свойств пленок были всегда одними и теми же, независимо от величины поля. Поэтому можно считать, что поле в 50 э вполне достаточно для термомагнитной обработки этих пленок. Ниже 50 э влияние поля не исследовалось.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Chang, U. Guanola, M. Sagal, Jour. Appl. Phys., 35, 830 (1964).
2. H. Williams, R. Scherwood, Jour. Appl. Phys. 28., 548 (1957).

3. E. Mitchell, Jour. Appl. Phys., 29, 286 (1958).
4. W. Chu, J. Wolf, B. Wagner, Jour. Appl. Phys., 30, 2778 (1959).
5. A. Sägmüller, Zeitschr. angew. Physik, 13, 154 (1961).
6. K. Y. Ahn, G. S. Ansell, C. T. Barton, W. R. Beam, Jour. Appl. Phys., 35, 1653 (1964).
7. M. Cohen, Jour. Appl. Phys., 34, 1187 (1964).
8. E. Greenberg, E. Korostoff, Jour. Appl. Phys., 35, 1653 (1964).
9. T. Crouther, Jour. Appl. Phys., 33, 1399 (1962).
10. E. Feldkeller, Zeitschr. angew. Physik, 28, 548 (1957).

**ԷԼԵԿՏՐՈԼԻՏԻԿ ՖԵՐՈՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԶԵՐՄԱՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ
ՄՇԱԿՄԱՆ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՐԱՆՑ ՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ**

Ա. Ա. ԵԴԻԳԱՐՅԱՆ, Մ. Վ. ՊԱՊԵՏՅԱՆ, Թ. Ա. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

Ուսումնասիրված է Ֆերմամագնիսական մշակման աղղեցությունը էլեկտրոլիտիկ կղանակով ստացված բարակ ֆերմամագնիսական թաղանթների մագնիսական հատկությունների վրա: Թաղանթները, որոնց հաստությունը կազմում է 1500—2000 Å, նստեցվում են միկրոսկոպի ծածկապակու վրա, որը նախապես վակուումում պատվում է ջրումի հաղորդիչ շերտով (500 Å): Մագնիսական դաշտում (30 էրոտ.) նստեցնելիս թաղանթը ձևոք է բերում մագնիսական անիզոտրոպիա դուրբին և դժվար փոխադրահայաց մագնիսացման առանցքներով: Ստացված արդյունքների հիման վրա ցույց է տրված հետևյալը.

1. Դժվար մագնիսացման ուղղությունում մինչև 130—150°C Ֆերմամագնիսական մշակման ժամանակ նկատվում է H_k -ի և H_c -ի փոքրացում, իսկ անիզոտրոպիայի անկյունային դիսպերսիան մնում է հաստատուն:

130—250°C Ֆերմամագնիսային միջակայքում տեղի է ունենում դիսպերսիայի խիստ մեծացում, H_k -ի և H_c -ի հետագա նվազում: Ջերմաստիճանը 230—260°C հասցնելուց հետո առիկ է ունենում անիզոտրոպիայի առանցքների շրջում: Ջերմաստիճանի հետագա բարձրացման հետ H_k -ի և H_c -ի աճում են, H_c -ն հասնում է նախնական արժեքին, իսկ H_k -ն դառնում է որոշ չափով փոքր:

2. 80—250°C Ֆերմամագնիսային միջակայքում ֆերմամագնիսական դժվար մագնիսացման ուղղությունում լրացուցիչ Ֆերմամագնիսական մշակումից հետո հեշտ մագնիսացման ուղղությունում կատարած Ֆերմամագնիսական մշակումով բոլոր նախնական հատկությունները վերականգնվում են, այդ թվում նաև անիզոտրոպիայի անկյունային դիսպերսիան: Եթե դժվար մագնիսացման ուղղությունում լրացուցիչ Ֆերմամագնիսական մշակումով (250°C-ից բարձր Ֆերմամագնիսում) անիզոտրոպիայի առանցքները շրջվում են, ապա հեշտ մագնիսացման ուղղությունում հետագա Ֆերմամագնիսական մշակումով անիզոտրոպիայի առանցքները նորոգվում են նախնական ուղղությունները, բայց H_k -ի արժեքը չի վերականգնվում: Մնում է փոքրացված: Այս եղանակով ստացվում է ֆերմամագնիսական թաղանթ $H_c = H_k$:

3. Հեշտ մագնիսացման ուղղությունում 80—360°C Ֆերմամագնիսային միջակայքում Ֆերմամագնիսական մշակման ժամանակ փոքրանում են անկյունային դիսպերսիան, H_c -ն և ֆերմամագնիսական թաղանթի հեշտ առանցքի շեղումը, ըստ որում H_c -ն և H_k -ն մինչև 300°C զործնականորեն չեն փոխվում: Ջերմաստիճանի հետագա բարձրացումից H_c -ն և H_k -ն մեծանում են:

THE EFFECT OF THERMOMAGNETICAL TREATMENT ON MAGNETIC PROPERTIES OF ELECTROPLATED FERROMAGNETIC FILMS

A. A. EDIGARYAN, M. V. PAPYAN and T. A. POGHOSSYAN

The influence of the conditions of thermomagnetical treatment on the magnetic properties of the electroplated ferromagnetic films has been studied. The films were deposited on glass slides and covered with conducting layers of 500 Å Cr by vacuum deposition. The influence on the coercitive force (H_c), the anisotropy field (H_k) and the rectangularity (K_T) has been considered.