

## ДИФРАКЦИОННОЕ УСИЛЕНИЕ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КЕРРА

*В.Еременко, О.Жефруа<sup>+1)</sup>, В.Новосад, Б.Пантье<sup>□1)</sup>, В.Пишко, И.Суш<sup>+</sup>*

*Физико-технический институт низких температур 310164 Харьков, Украина*

*<sup>+</sup>Laboratoire de Magnétisme Louis Néel, CNRS/UJF 38042 Grenoble, BP166, France*

*□CRTBT, CNRS/UJF, 38042 Grenoble, BP166, France*

Поступила в редакцию 25 августа 1997 г.

Представлены результаты исследований поперечного эффекта Керра на решетке тонких магнитных полос, нанесенных на кремниевую подложку. Периодическая структура образца приводит к возникновению дифракции. Нами было обнаружено, что при определенных условиях эксперимента величина эффекта, измеренная в дифракционных лучах, многократно превышает его максимальное значение для образца с однородной поверхностью.

PACS: 78.20.Ls

В данной работе мы сообщаем о результатах измерения поперечного магнитооптического эффекта Керра (ПМОЭК) для периодической решетки магнитных полос, нанесенных на немагнитную подложку. Исследование физических свойств подобных структур представляет несомненный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения [1]. При освещении образца лучом лазерного света с длиной волны в несколько раз меньше периода решетки, кроме отраженного, наблюдается несколько дифракционных лучей. При этом магнитооптические эффекты наблюдаются не только в отраженном, но и в дифракционных лучах [2]. Ранее подобные эксперименты проводились для изучения процессов перемагничивания микроскопических магнитных частиц на субмикронном уровне [3].

При изучении магнитооптических эффектов на периодических структурах в оптическом диапазоне особое значение имеет качество исследуемых образцов. Изготовление образца выполнялось в следующей последовательности. Сначала на плоскую поверхность монокристаллической кремниевой пластины методом оптической литографии наносилась решетка параллельных полос из органического материала. Затем на полученную заготовку напылялся аморфный ферромагнитный сплав  $Fe_3Si$  толщиной 0.07 мкм. Для этого использовалась установка катодного распыления магнетронного типа со следующими параметрами напыления: давление рабочего газа (Ar) 10 Па, ионный ток 40 мА, температура подложки 78 К. После этого образец помещался на некоторое время в среду органического растворителя, так что в итоге на кремниевой подложке с площадью поверхности  $10 \times 10$  мм оставалась лишь решетка магнитных полос с периодом 3.5 мкм и шириной полос 0.5 мкм. На рис.1 показана поверхность изготовленного образца, изображение которой получено с помощью атомного силового микроскопа (Atomic Force Microscope).

Поперечный магнитооптический эффект Керра наблюдается в случае, когда внешнее магнитное поле перпендикулярно плоскости падения и отражения света. Величиной, характеризующей данный эффект, принято считать относительное изменение

<sup>1)</sup> O.Geoffroy, B.Pannetier, Y.Souche.

интенсивности света  $\Delta I/I$ , отраженного от поверхности образца, которое возникает вследствие его перемагничивания. При измерении ПМОЭК дифракционная решетка закреплялась между полюсами электромагнита, размещенного на поворотной площадке гониометра таким образом, что внешнее магнитное поле было параллельно магнитным полосам решетки и перпендикулярно плоскости, содержащей отраженный и дифрагированные лучи. Величина магнитного поля, достаточная для полного перемагничивания магнитных полос, составляла 0.025 Тл. Использование гониометра позволяло вращать образец и независимо перемещать детектор для измерений при различных углах падения света. В качестве источника излучения использовались инфракрасный ( $\lambda = 780$  нм) и красный ( $\lambda = 670$  нм) лазерные диоды, а также аргоновый лазер, работающий в зеленом ( $\lambda = 514.5$  нм) и синем ( $\lambda = 488$  нм) свете. Свет был поляризован в плоскости дифракции. Дифрагированный свет регистрировался фотодиодом и после усиления обрабатывался с помощью персонального компьютера. Погрешность измерений величины эффекта Керра не превышала 5%. Результаты, полученные для разных длин волн, не имеют принципиальных отличий, поэтому мы будем обсуждать измерения, выполненные с использованием наиболее стабильного красного источника света.

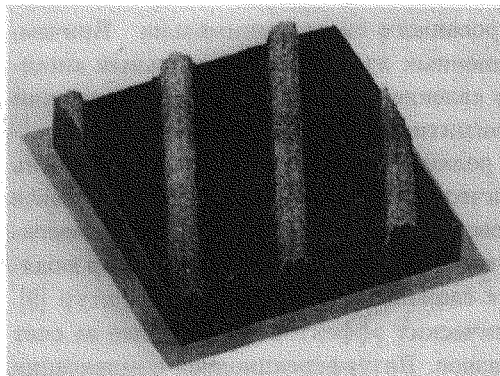


Рис.1. Изображение участка поверхности образца решетки магнитных полос, нанесенных на кремниевую подложку. Масштаб по вертикали увеличен в 10 раз. Геометрические размеры приводятся в тексте

Мы экспериментально измеряли величину  $\Delta I_n/I_n$  в  $n$ -дифракционных лучах как функцию угла падения света. Через  $I_n$  обозначена полусумма интенсивностей дифрагированного света, измеренных при максимальных значениях перемагничивающего поля. На рис.2 представлены величины ПМОЭК для  $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3$  при углах падения света от 0 до 90°. Угловая зависимость эффекта сильно отличается для различных дифракционных лучей. Для каждого луча имеется максимум при определенных углах падения: для +1-го луча максимальная величина эффекта достигает 28% при угле падения 35°. Для других лучей максимальный эффект имеет меньшую, но также значительную величину: для -1-го он равен 14%, для -2-го 8%, для +2-го 6%. Необходимо отметить, что максимально возможная величина ПМОЭК для сплошной тонкой пленки  $\text{Fe}_3\text{Si}$  составляет лишь 1.8% при угле падения 69°. Ранее проведенные измерения на рельефной решетке со сплошным магнитным покрытием не показали значительного усиления ПМОЭК. В первом дифракционном луче эффект достигал всего 4% [4].

На рис.3 представлены угловые зависимости величин интенсивности света  $I_n$  в дифракционных лучах, нормированной на величину интенсивности падающего света. Сравнивая рис.2 и 3, можно видеть, что эффект увеличивается в области тех

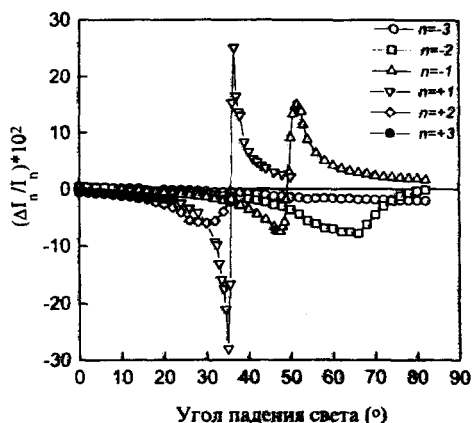


Рис.2. Зависимость поперечного магнитооптического эффекта Керра, измеренного в дифракционных лучах ( $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3$ ), от угла падения света

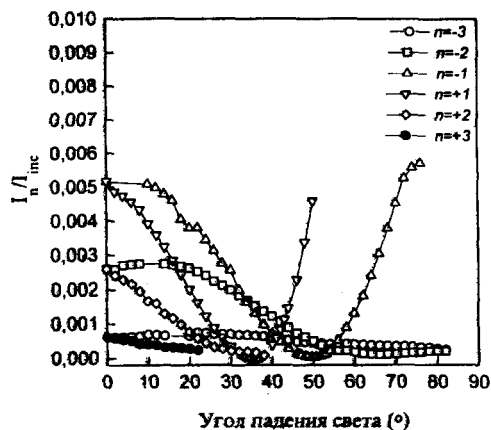


Рис.3. Угловая зависимость нормированной интенсивности света в различных дифракционных лучах

углов падения, где интенсивность дифрагированного света минимальна. Причем, когда интенсивность света для  $\pm 1$  дифракционных лучей имеет локальный минимум, ПМОЭК изменяет свой знак. Подобное явление наблюдается и при отражении от однородной поверхности в окрестности магнитного угла псевдо-Брюстера [5].

Магнитооптические эффекты Керра, за редким исключением, являются очень слабыми эффектами. Поэтому для их практического применения ранее предлагался ряд методов усиления: путем покрытия поверхности магнитного образца диэлектрической пленкой [6, 7], нанесением магнитной пленки на немагнитную, проводящую подложку [8] или путем использования сложных многослойных структур [9]. В указанных способах усиление магнитооптических эффектов происходило за счет уменьшения отражательной способности образцов. Интерференционная компенсация отраженного света достигалась путем выбора оптимальных толщин пленок и используемых материалов. Мы предполагаем, что усиление ПМОЭК решеткой магнитных полос происходит за счет компенсации света, взаимодействующего с поверхностью магнитных полос, и света, взаимодействующего с немагнитной подложкой. Для некоторых углов падения это приводит к значительному уменьшению  $I_n$  в дифракционных лучах. Величина изменения интенсивности дифрагированного света  $\Delta I_n$  не имеет при этом локальных минимумов. Таким образом, магнитооптический эффект  $\Delta I_n / I_n$  значительно возрастает. Факторами, влияющими на усиление эффекта Керра, являются соотношения между размерами магнитной и немагнитной частей поверхности образца. Кроме того, явление оптической дифракции позволяет наблюдать эффект под углами, которые недоступны при обычном отражении от плоского образца. Численное моделирование с использованием строгой электромагнитной теории дифракции может указать оптимальные способы усиления магнитооптических эффектов Керра на решетках магнитных полос [10].

В дальнейшем мы планируем исследование других эффектов Керра на образцах данного типа.

1. B.Barbara, J.Magn. Magn. Mater. **156**, 123 (1996).
2. Y.Souche, M.Schlenker, and A.D.dos Santos, J. Magn. Magn. Mater. **140-144**, 2179 (1995).
3. O.Geoffroy, D.Givord, Y.Otani et al., J. Magn. Magn. Mater. **121**, 516 (1993).
4. Y.Souche, O.Geoffroy, V.Novosad et al., J. Magn. Soc. Jpn. Suppl. No.S1, **20**, 393 (1996).
5. J.Futterman, Am. J. Phys. **63**, 471 (1995).
6. A.В.Соколов, *Оптические свойства металлов*, М.: из-во физ-мат. лит., 1961 (A.V.Sokolov, *Optical Properties of Metals*, Eds. Blackie and Son Ltd. Glasgow & London, 1967).
7. R.P.Hunt, J. Appl. Phys. **38**, 1215 (1967).
8. T.Katayama, Y.Suzuki, H.Awano et al., Phys. Rev. Lett. **60**, 1426 (1988).
9. G.A.N.Connel, R.Allen, and M.Mansuripur, J. Magn. Magn. Mater. **35**, 337 (1983).
10. G.Tayeb, R.Petit, and M.Cadilhac, Proc. of SPIE, Montreal **813**, 407 (1987).