

05.1

© 1990

## ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ И ОБЪЕМНЫХ КРИСТАЛЛОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ГРАНАТОВ

В.Н. Бержанский, В.Е. Петров,  
Ю.Н. Коробий

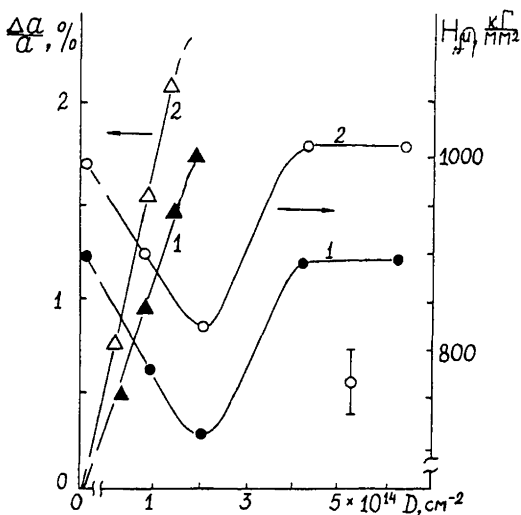
Эпитаксиальные феррит-гранатовые структуры с большой магнитооптической добротностью используются в устройствах обработки информации с подвижного носителя. Носитель (диск, лента) в процессе движения определенное время находится в непосредственном контакте с пленкой, подвергая ее определенной механической нагрузке. Поэтому важно знание величин таких характеристик гранатов как микротвердость, устойчивость к истиранию и умение ими управлять. Известно, что при ионной имплантации (ИИ) микротвердость может быть повышена в несколько раз, а устойчивость к истиранию – в десятки раз [1]. Целью работы являлось определение микротвердости эпитаксиальных и объемных кристаллов редкоземельных гранатов, исследование влияния на нее ионной имплантации.

В качестве образцов были выбраны пленочные эпитаксиальные кристаллы  $Y_3Fe_5O_{12}$  (ЖИГ) толщиной 2–5 мкм и объемные кристаллы  $Ca_3Ga_5O_{12}$  (ГГГ), которые используются в качестве подложечного материала при эпитаксии. Поверхность всех кристаллов ориентирована параллельно плоскости (111).

Параметр решетки и толщина ИИ-слоев измерялись по кривым качания на 2-х кристалльном рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М. Относительное изменение параметра решетки в ИИ-слое определялось по формуле  $\Delta a/a = -\theta_B \operatorname{ctg} \theta_B$ , где  $\theta_B$  – разница между углами, соответствующими максимумам от основного и имплантированного слоев для отражения типа (444).

Микротвердость по Виккерсу  $H_M$  измерялась стандартным способом с использованием прибора ПМТ-3. Оценка  $H_M$  проводилась в соответствии с формулой  $H_M = 2P \sin(\alpha/2) d^{-2}$ , где  $P$  – нагрузка,  $\alpha$  – угол при вершине алмазной пирамиды,  $d$  – длина диагонали отпечатка. Поскольку доля ИИ-слоя не превышала 30% общего объема отпечатка, то для повышения точности каждое экспериментальное значение  $H_M$  определялось как среднее из 25 измерений.

Ионная имплантация осуществлялась ионами  $Ne^+$  при энергии 75 кэВ на установке „Везувий 4“. Толщина ИИ-слоев при такой энергии составляла  $\sim 100$  нм.



Зависимости микротвердости и параметра решетки от дозы при имплантации монокристалла  $Cd_3Ga_5O_{12}$  (2) и монокристаллической пленки  $Y_3Fe_5O_{12}$  (1) ионами  $Ne^+$  (75 кэВ).

Механические характеристики кристаллов зависят от их совершенства, в частности от количества дислокаций, различных точечных дефектов. Микротвердость объемных кристаллов несколько выше, чем эпитаксиальных. Это свидетельствует об их более совершенной структуре. При имплантации из-за увеличения числа таких радиационных дефектов, как катионные и анионные вакансии и их скопления, межузельные атомы различных типов, повышается упругая энергия кристаллов. Ее увеличение может быть охарактеризовано относительным изменением параметра решетки  $\Delta a/a$ , которое происходит преимущественно в направлении, нормальном по отношению к поверхности кристалла [3].

На рисунке представлены зависимости  $\Delta a/a$  и  $H_\mu$  в эпитаксиальном ЖИГе и ГГГ от дозы ионов  $Ne^+$ . Рост деформационного отношения  $\Delta a/a$  связан с накоплением структурных дефектов. Из рисунка видно, что в ГГГ скорость роста  $\Delta a/a$  с дозой выше, чем в эпитаксиальных структурах. Предполагая, что напряжения, связанные с различием ионных радиусов  $Ne^+$  и гранатообразующими элементами в  $Y_3Fe_5O_{12}$  и  $Cd_3Ga_5O_{12}$  одинаковы, можно оценить ожидаемые значения  $\Delta a/a$  при переходе от одного граната к другому. Известно, что напряжения  $\sigma$ , связанные с изменением  $\Delta a/a$  имеют вид  $\sigma = K \Delta a/a$  где  $K$  - модуль объемного сжатия  $K = 1/3 (c_{11} + c_{12})$ . Упругие модули  $c_{ij} \times 10^{-12}$  дин/см<sup>3</sup> равны в ГГГ  $c_{11} = 2.83$  и  $c_{12} = 1.10$  в  $Y_3Fe_5O_{12}$  -  $c_{11} = 2.69$ ,  $c_{12} = 1.08$ . Оценка дает, что  $\Delta a/a$  в ГГГ должна быть на несколько процентов ниже, чем в ЖИГе, в то время как эксперимент показывает 50% рост  $\Delta a/a$  в кристаллах ГГГ по сравнению с ЖИГ. Подобная разница свидетельст-

вует о наличии исходной деформации и повышенной дефектности эпитаксиальных структур, обусловленной разницей в параметрах решетки пленки и подложки. По этой же причине исходная микротвердость эпитаксиальных структур ниже, чем объемных кристаллов. Увеличение количества дефектов, вводимых в кристаллические образцы при ионном внедрении, приводит к уменьшению микротвердости.

При определенных дозах, при которых происходит перекрытие отдельных радиационно разупорядоченных областей, кристаллическая структура ИИ-слоя становится аморфной, что сопровождается исчезновением соответствующих рентгеновских рефлексов. Как для объемных, так и эпитаксиальных кристаллов эта доза примерно одинакова и составляет  $\sim 2 \cdot 10^{14} \text{ Ne}^+ / \text{см}^2$ . При аморфизации ИИ-слоев происходит возрастание микротвердости. Микротвердость эпитаксиальных кристаллов практически восстанавливает свое значение при аморфизации ИИ-слоя, а микротвердость объемных кристаллов даже несколько увеличивается. При дальнейшем увеличении дозы микротвердость остается неизменной. Возрастание микротвердости при аморфизации ИИ-слоев связано с блокировкой дислокационного механизма разрушения кристаллов. Для упрочения поверхности гранатовых структур более перспективным является, по-видимому, имплантация ионов  $N^+$ , которые способны образовывать ряд высокопрочных нитридов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Р и с е л Х., Р у г е И. Ионная имплантация. М.: Наука, 1983.
- [2] Е а s t m o n D.E. // J. Appl. Phys. 1966. V. 37. P. 2912-2916.
- [3] G e r o d P. // Thin. Solid. Films. 1984. V. 114. P. 3-31.

Симферопольский государственный университет им. М.В. Фрунзе

Поступило в Редакцию  
21 августа 1990 г.