

Свойства слоев GaAs, облученных ионами железа

С.М. Планкина, О.В. Вихрова, В.А. Власова, Ю.А. Данилов, Ю.А. Дудин, А.В. Нежданов,
А.Е. Парафин*, Е.А. Питиримова

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород

*) Институт физики микроструктур РАН, Н. Новгород, Россия

e-mail: plankina@phys.unn.ru

Введение

Разбавленные магнитные полупроводники, сильно легированные Fe, считаются перспективными материалами для полупроводниковой спинтроники, поскольку температура Кюри в них может быть выше комнатной. В работе /1/ методом молекулярно-лучевой эпитаксии были получены тонкие слои InSb:Fe с содержанием Fe, равным 16%; в работе /2/ показана возможность выращивания методом импульсного лазерного осаждения слоев GaAs:Fe со средней концентрацией Fe до 20 ат. %, являющихся однофазными полупроводниками с собственным ферромагнетизмом и температурой Кюри выше 295 К.

Эксперимент

В данной работе исследованы слои GaAs:Fe, полученные облучением пластин полупроводникового GaAs (001) ионами Fe (дозы D_{Fe} варьировались от $1 \cdot 10^{15}$ до $3 \cdot 10^{16}$ cm^{-2}) с последующим отжигом импульсом эксимерного KrF лазера (длина волны 248 нм, длительность импульса 30 нс) при плотности энергии W от 200 до 400 мДж/ cm^2 .

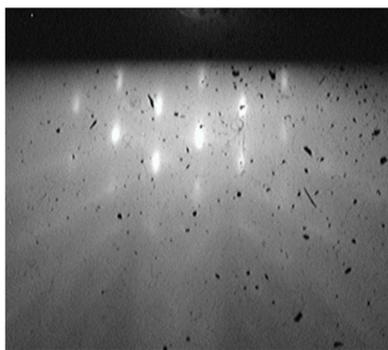
Расчитанный для ионов Fe средний проецированный пробег R_p составил:

- для энергии 80 кВ - 170 нм;
- для энергии 30 кВ - 65 нм.

Исследования спектров комбинационного рассеяния свет (КРС) проводились на установке NTEGRA SPECTRA (производство NT-MDT) при комнатной температуре с использованием лазера с $\lambda = 473$ нм. Излучение фокусировалось $100\times$ объективом с апертурой $NA = 0.95$ в пятно диаметром ≈ 1 мкм. Спектры регистрировались в геометрии обратного рассеяния от плоскости (100).

Для исследования структуры и свойств слоев использованы: электронография на отражение (электронограф ЭМР-102, ускоряющее напряжение 50 кВ).

Исследованы эффект Холла и гальваномагнитные свойства слоев.



Типичные электронограммы на отражение от слоев GaAs:Fe. Вытянутость рефлексов свидетельствует о наличии механических напряжений.

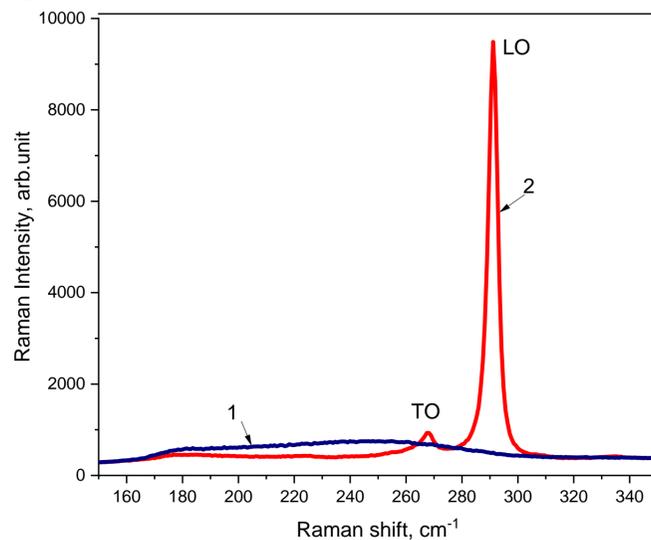
Заключение

Показано, что использованные режимы постимплантационного импульсного лазерного отжига (плотность энергии от 200 до 400 мДж/ cm^2) достаточны для устранения нарушения кристаллической структуры слоев GaAs:Fe, но степень восстановления кристалличности зависит от дозы ионов Fe.

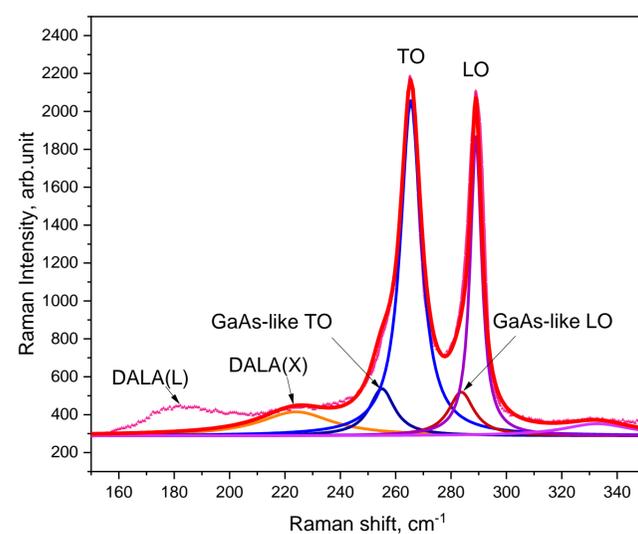
Исследование спектров КРС кроме фононных мод GaAs выявило дополнительные моды, предположительно связанные с образованием фазы твердого раствора GaFeAs.

Результаты

На графиках представлены типичные спектры комбинационного рассеяния слоев GaAs:Fe. Появление на спектре после импульсного лазерного отжига (ИЛО) продольной (LO) и поперечной (TO) оптических фононных мод свидетельствует о кристаллизации слоя.



Спектры КРС слоев GaAs:Fe с дозой имплантации $1 \cdot 10^{15}$ и энергии 80 кВ: 1 – до отжига, 2 – после импульсного лазерного отжига (ИЛО) с плотностью энергии 300 мДж/ cm^2 .

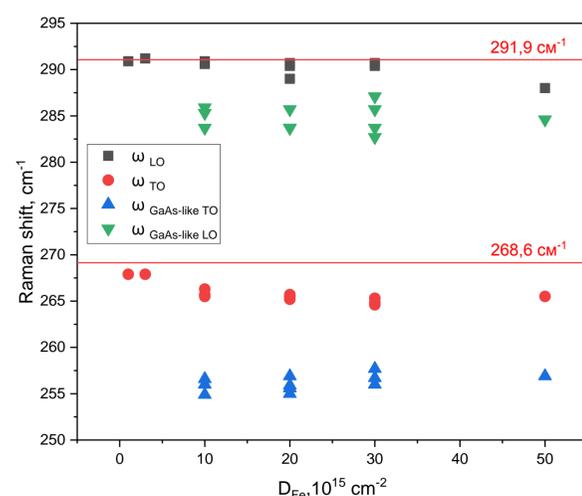


Спектр КРС слоя GaAs:Fe (ИЛО, Fe, 30 кВ, доза ионов Fe 2×10^{16} cm^{-2} , плотность энергии 360 мДж/ cm^2).

Анализ спектров КРС при дозах Fe, 10^{16} cm^{-2} и выше показывает появление дополнительных фононных мод, сдвинутых относительно мод GaAs на $5 \div 10$ cm^{-1} , предположительно связанных с образованием фазы твердого раствора GaFeAs (GaAs-подобные LO- и ТО-моды).

Основные моды GaAs сдвинуты в низкочастотную сторону относительно справочных значений до $3,5$ cm^{-1} из-за напряжений растяжения, возникающих в слое.

Исследования эффекта Холла показали, что образцы имеют проводимость p-типа, и с увеличением дозы ионов Fe от 1×10^{15} cm^{-2} до 3×10^{16} cm^{-2} происходит уменьшение слоевого сопротивления от ~ 2600 Ом/ \square до 500 Ом/ \square .



Зависимость частотного положения LO-, TO-мод GaAs и GaAs-подобных LO-, TO-мод твердого раствора GaFeAs от дозы ионов Fe.

Литература

1. N.T. Tu, P.N. Hai, L.D. Anh, M. Tanaka, Appl. Phys. Express, 11 (6), 063005 (2018). DOI: 10.7567/APEX.11.063005

2. A.V. Kudrin et al. //Semicond. Sci. Technol., 2020, 35, 125032.