

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ GaAs, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ МАРГАНЦА И ЖЕЛЕЗА

В.А. Быков<sup>1</sup>, О.В. Вихрова<sup>1</sup>, Ю.А. Данилов<sup>1</sup>, Ю.А. Дудин<sup>1</sup>,  
Д.А. Здравейщев<sup>1</sup>, Ю.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.В. Нежданов<sup>1</sup>,  
А.Е. Парафин<sup>2</sup>, Е.А. Пителимова<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

[danilov@nifti.unn.ru](mailto:danilov@nifti.unn.ru)

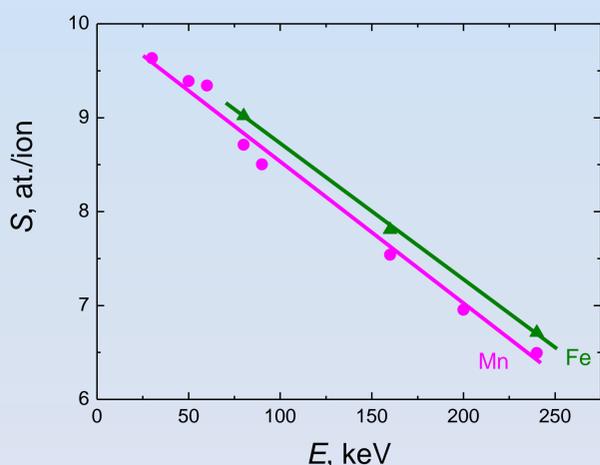


## Мотивация исследования

Ферромагнитные полупроводники (ФМП), т.е. материалы, сочетающие свойства полупроводника и ферромагнетика, являются неотъемлемой частью многих современных приборов спинтроники и могут использоваться, в частности, в качестве инжекторов спин-поляризованных носителей тока. Поскольку для достижения ферромагнитных свойств исходный полупроводник должен быть легирован примесью переходных элементов в количестве нескольких атомных процентов (обычно намного выше предела равновесной растворимости), то для создания слоев необходимо применять неравновесные методы. Наиболее распространен метод низкотемпературной молекулярно-лучевой эпитаксии (НТ-МЛЭ). Альтернативным методом получения ФМП является ионная имплантация с последующим импульсным лазерным отжигом

## Методика эксперимента

Исходным материалом являются пластины полуизолирующего GaAs(001). Облучения выполнены на ускорителе «Радуга-3М» при ускоряющем напряжении 80 кВ. Температура мишени была комнатной. Особенностью имплантации является присутствие в потоке, кроме основной двухзарядной фракции, также одно- и трехзарядных ионов. Дозы имплантации варьировались от 1 до  $3 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>.



Другая особенность облучения состоит в высоких коэффициентах распыления (до 9 ат./ион). Поэтому профиль имплантации имеет сложную форму. Предложена пошаговая процедура для расчета профилей негауссовой формы.

Отжиг выполнен одиночными импульсами эксимерного KrF лазера марки LPX-200 (длина волны 248 нм, длительность импульса 30 нс) при плотности энергии 200 - 400 мДж/см<sup>2</sup>.



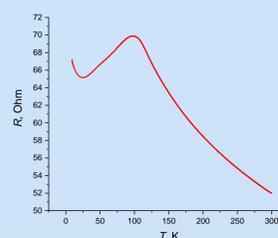
Измерение электрических параметров (эффект Холла и магнетосопротивление) имплантированных и отожженных слоев были выполнены в геометрии Ван дер Пау с использованием установки на базе криостата замкнутого цикла Janis CCS-300S/202 в магнитных полях до 4000 Э.

## Экспериментальные результаты

Таблица 1. Электрические параметры слоев после отжига при плотности энергии 400 мДж/см<sup>2</sup>

| Доза ионов, см <sup>-2</sup> | $1 \times 10^{16}$   | $3 \times 10^{16}$  | $5 \times 10^{16}$   |
|------------------------------|--|---|--|
| Mn                           | $R_s = 570$ Ом/кв.<br>p-тип<br>$\mu_{\text{eff}} = 5$ см <sup>2</sup> /В·с<br>$p_s = 2.1 \times 10^{15}$ см <sup>-2</sup>  | $R_s = 440$ Ом/кв.<br>p-тип<br>$\mu_{\text{eff}} = 6$ см <sup>2</sup> /В·с<br>$p_s = 2.2 \times 10^{15}$ см <sup>-2</sup>   | $R_s = 460$ Ом/кв.<br>p-тип<br>$\mu_{\text{eff}} = 5$ см <sup>2</sup> /В·с<br>$p_s = 2.9 \times 10^{15}$ см <sup>-2</sup>  |
| Fe                           | $R_s = 4020$ Ом/кв.<br>p-тип<br>$\mu_{\text{eff}} = 4$ см <sup>2</sup> /В·с<br>$p_s = 3.6 \times 10^{14}$ см <sup>-2</sup> | $R_s = 1070$ Ом/кв.<br>p-тип<br>$\mu_{\text{eff}} = 14$ см <sup>2</sup> /В·с<br>$p_s = 4.2 \times 10^{14}$ см <sup>-2</sup> | $R_s = 710$ Ом/кв.<br>p-тип<br>$\mu_{\text{eff}} = 17$ см <sup>2</sup> /В·с<br>$p_s = 5.2 \times 10^{14}$ см <sup>-2</sup> |

### GaAs:Mn



### GaAs:Fe

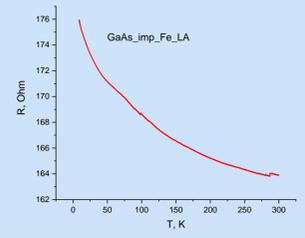


Рис. 1. Зависимость сопротивления слоев от температуры измерений

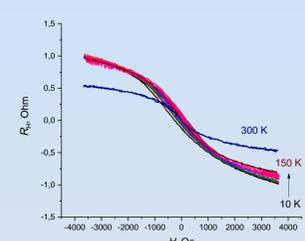
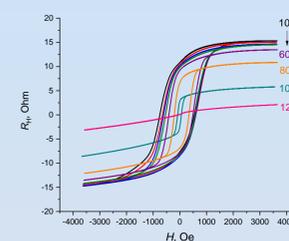


Рис.2. Магнитополевые зависимости эффекта Холла

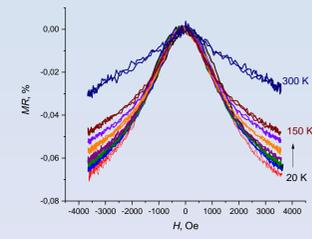
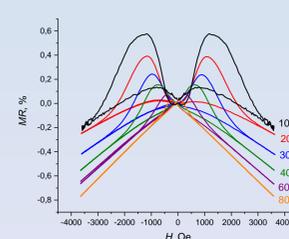


Рис.3. Магнитополевые зависимости магнетосопротивления

**Выводы:** Магнитополевые зависимости эффекта Холла и магнетосопротивления при варьировании температуры измерений показывают, что полученные ионной имплантацией и импульсным лазерным отжигом слои GaAs:Mn и GaAs:Fe являются ферромагнитными вплоть до 120 К при легировании марганцем и до 300 К при легировании железом. Наносекундный лазерный отжиг обеспечивает восстановление кристаллической структуры после имплантации и отсутствие кластерообразования в сильнолегированных слоях.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 19-19-00545).