

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ GaAs, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ МАРГАНЦА И ЖЕЛЕЗА

В.А. Быков¹, О.В. Вихрова¹, Ю.А. Данилов¹, Ю.А. Дудин¹,
Д.А. Здравейщев¹, Ю.А. Кузнецов¹, А.В. Нежданов¹,
А.Е. Парафин², Е.А. Питиримова¹



¹ Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

² Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

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

Экспериментальные результаты

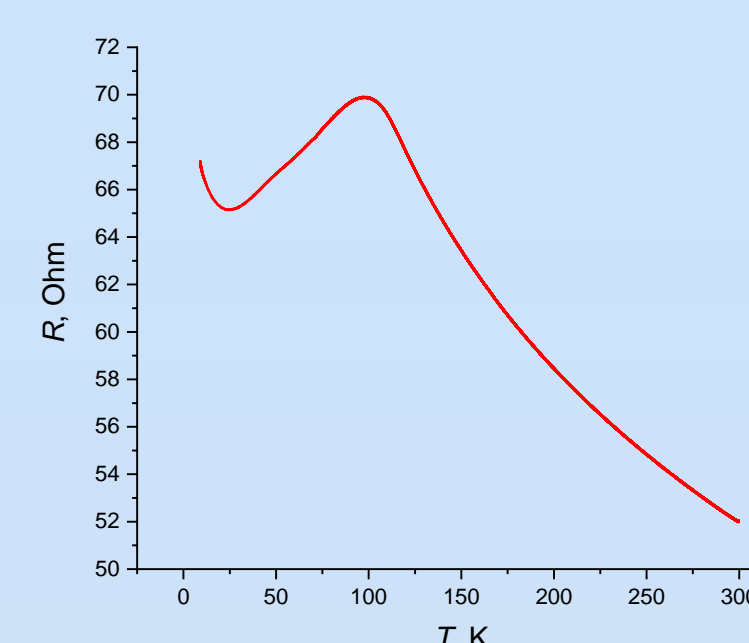
Таблица 1. Электрические параметры слоев после отжига при плотности энергии 400 мДж/см²

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

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 3·10¹⁶ см⁻².

GaAs:Mn



GaAs:Fe

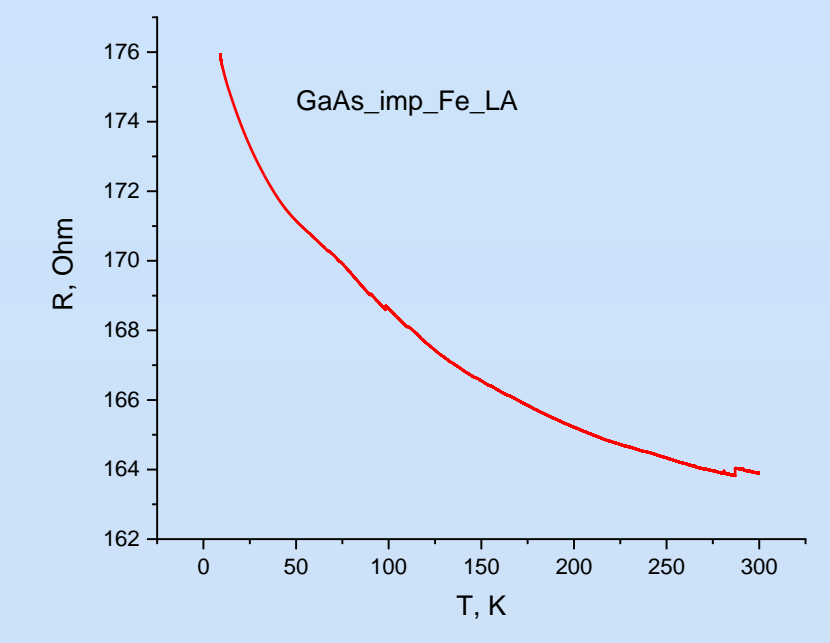
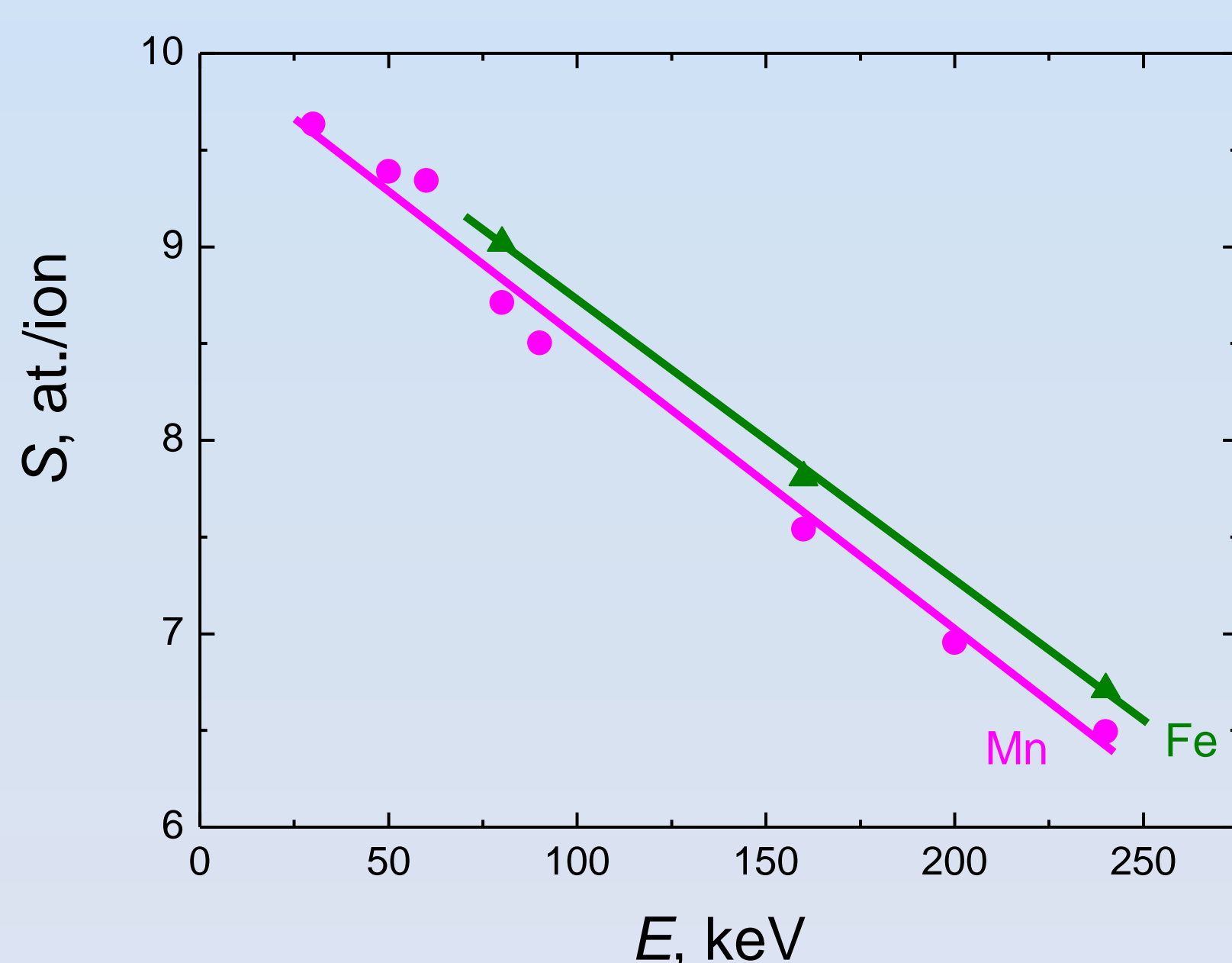


Рис. 1. Зависимость сопротивления слоев от температуры измерений



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.

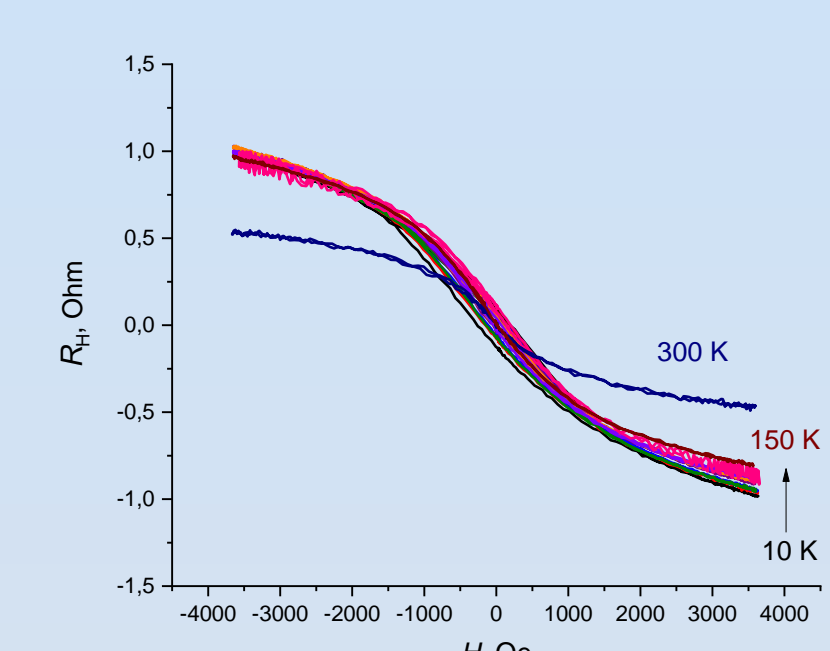
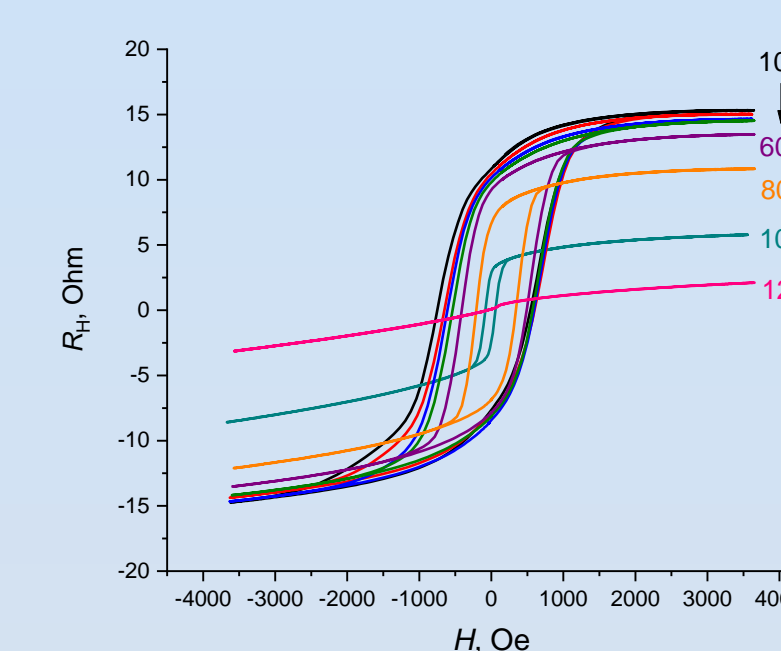


Рис.2. Магнитополевые зависимости эффекта Холла

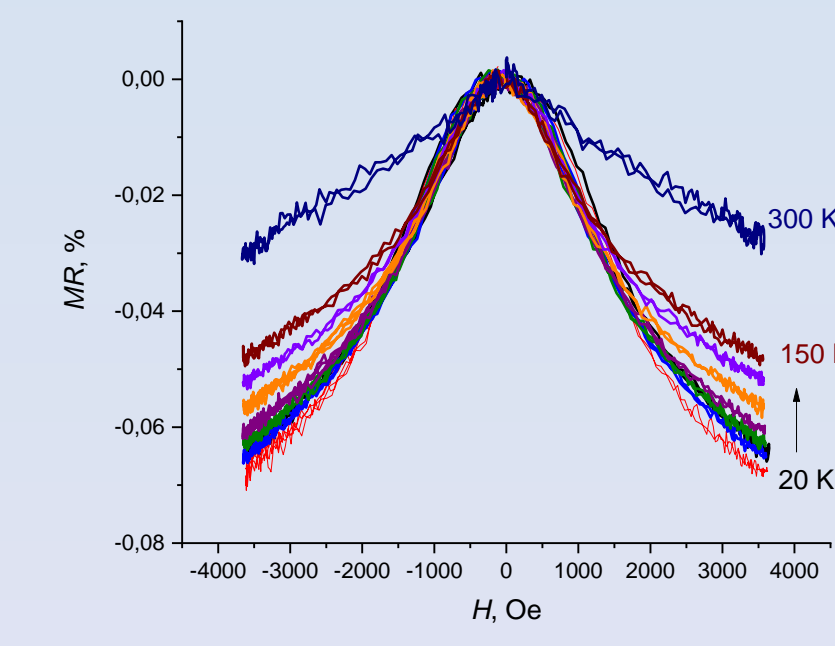
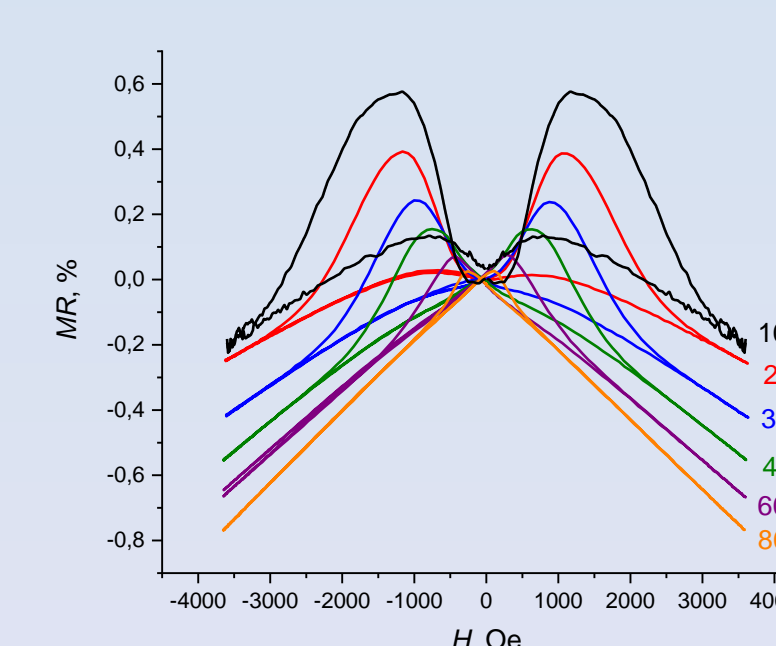


Рис.3. Магнитополевые зависимости магнетосопротивления

Отжиг выполнен одиночными импульсами эксимерного KrF лазера марки LPX-200 (длина волны 248 нм, длительность импульса 30 нс) при плотности энергии 200 - 400 мДж/см².



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.

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).