Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

Институт Радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова

Кафедра электроники и наноэлектроники

Лабораторная работа

по дисциплине

Современные методы исследования поверхности полупроводников

Тема: Резерфордовское обратное рассеяние

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. ЭР-05м-21 |  | Маринин Н.С. |
| Преподаватель | (подпись) | Баринов А.Д. |
|  | (подпись) |  |

Москва 2022

Оглавление

[2. Исходные данные 2](#_Toc117199928)

[3. Задание 3](#_Toc117199929)

[4. Расчёт 4](#_Toc117199930)

[4.1. Построить кривые зависимости сечения торможения от энергии иона для каждого из элементов плёнки и подложки, а также для материала самой плёнки и подложки на одном графике в диапазоне энергий от 0,5 до 3 МэВ 4](#_Toc117199931)

[4.2. Постройте спектр обратного рассеяния, укажите особенности спектра (начало, конец, высоту и ширину) 6](#_Toc117199932)

[4.2.1. Металл IN 8](#_Toc117199933)

[4.2.2. Плёнка VO2 10](#_Toc117199934)

[4.3. As 17](#_Toc117199935)

# Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **ФИО студента** | **Подложка** | **Плёнка** | **Толщина плёнки *t*, нм** | **Металл** | **Ион** |
| 8 | Маринин Н.С. | Ga2O3 | VO2 | 200 | In | 1He+ |

Константы:

Элементарный электрический заряд:

Молярная масса электронов:

Число Авогадро:

Коэффициент пропорциональности:

Параметры элементов и материалов:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **He** | **In** | **V** | **O** | **Ga** | **VO2** | **Ga2O3** |
| **Атомный номер Z** | 2 | 49 | 23 | 8 | 31 | -- | -- |
| **Молярная масса M, г/моль** | 4 | 115 | 51 | 16 | 70 | 83 | 188 |
| **Плотность ρ, г/см3** | 0.0001 | 7.31 | -- | -- | -- | 4.34 | 6.44 |

# Задание

Ионы 4He+ с энергией бомбардируют поверхность плёнки VO2 толщиной , напылённой на подложку Ga2O3 и сверху покрытой тонким слоем металла In.

Ток пучка ионов , длительность бомбардировки Угол рассеяния составляет. Площадь приёмного окна детектора составляет, расстояние от мишени до детектора . Разрешение детектора принять равным. Энергия нулевого канала , ширина канала .

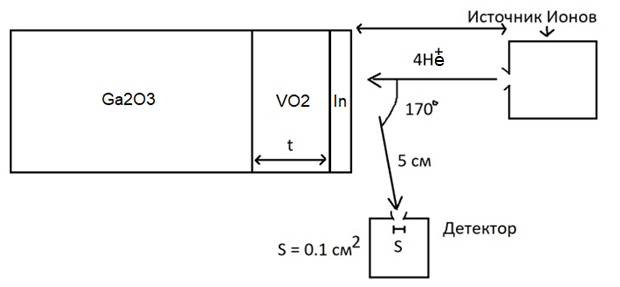


Рисунок 1. Подложка Ga2O3 с напылённой на неё плёнкой VO2 и покрытой сверху тонким слоем металла In

# Расчёт

## Построить кривые зависимости сечения торможения от энергии иона для каждого из элементов плёнки и подложки, а также для материала самой плёнки и подложки на одном графике в диапазоне энергий от 0,5 до 3 МэВ

Средняя энергия возбуждения электрона:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
| где n меняется от 10 до 12 в зависимости от Z атома. |  |

По формуле (1):

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **In** | **V** | **Ga** | **O** | **VO2** | **Ga2O3** |
| **I, эВ** | 490 | 253 | 341 | 96 | 390 | 860 |

Зависимость сечения торможения от энергии E иона 4He+ для элементов плёнки и подложки (Z и I – для соответствующего элемента):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Исходя их формулы (2) и используя правило Брегга, получаем зависимость сечения торможения от энергииEиона 4He+ для материала самой плёнки и подложки соответственно:

|  |  |
| --- | --- |
| и | (3) |

По формулам (2) и (3) построим зависимости сечения торможения от энергии иона:

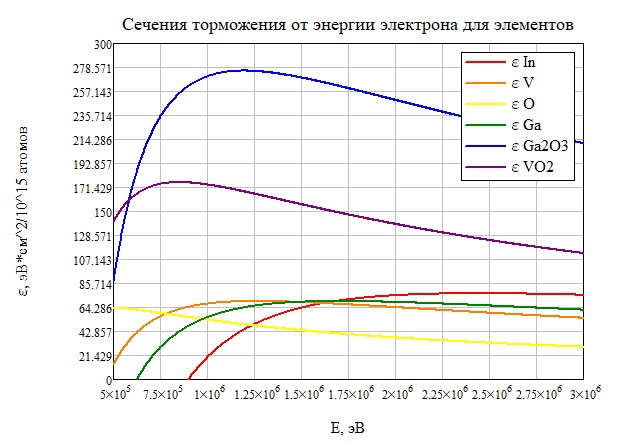


Рисунок 2. Зависимость сечения торможения от энергии иона для плёнки VO2.

## Постройте спектр обратного рассеяния, укажите особенности спектра (начало, конец, высоту и ширину)

Ниже приведены формулы для расчета всего необходимого в данном расчёте:

Количество падающих ионов: .

Вероятность рассеяния в телесный угол:

Концентрация атомов мишени:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Кинематический фактор(M– молярная масса атомов мишени):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

где - отношение массы элементов к массе атома гелия.

Энергия после соударения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Формула Резерфорда для расчёта сечения рассеяния при M >> MHE и поправка:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

Выход рассеяния:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Скорость потерь энергии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

где сечения торможения вычисляется по (2)

Коэффициент энергетических потерь обратного рассеяния:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

Ширина спектра:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

Левая граница спектра:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

Высота спектра:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

Страгглинг:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

### Металл IN

Плёнка металла очень тонкая, следовательно, толщиной пренебрегают.

Воспользовавшись вышеизложенными формулами получим следующие параметры:

(4) концентрация атомов мишени:

(5) кинематический фактор:

(6) Энергия после соударения:

(7) сечение рассеяния при энергии :

(8) выход рассеяния:

Разрешение по энергии: , так как толщина металла бесконечно мала и равна нулю, то разрешением по энергии от страгглинга можно пренебречь, тогда: .

### Плёнка VO2

(3) сечение торможения:

(4) концентрация атомов мишени:

(5) кинематический фактор:

(6) Энергия после соударения:

(правая граница спектра)

(7) сечение рассеяния:

(8) выход рассеяния:

(9) скорость потерь энергии:

(10) коэффициент энергетических потерь:

(11) ширина спектра:

(12) левая граница спектра:

(13) высота спектра:

(14) разрешение по энергии:

**Pb**

По формуле (5) кинематический фактор: и тогда энергия после соударения (правая граница): .

По формуле (3) сечение торможения при энергии : и тогда по формуле (8) скорость потерь энергии .

По формуле (9) коэффициент энергетических потерь обратного рассеяния при и : .

Таким образом, ширина спектра по энергии: и энергия после соударения (левая граница):

По формуле (6) сечение рассеяния при энергии : и поправка 0.0047 %.

По формуле (7) выход рассеянияпри : .

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

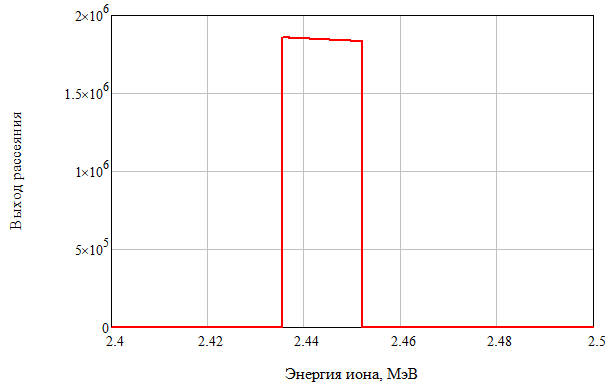


Рисунок 6. Спектр обратного рассеяния Pb по энергии.

Переход от энергии к каналам: и

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

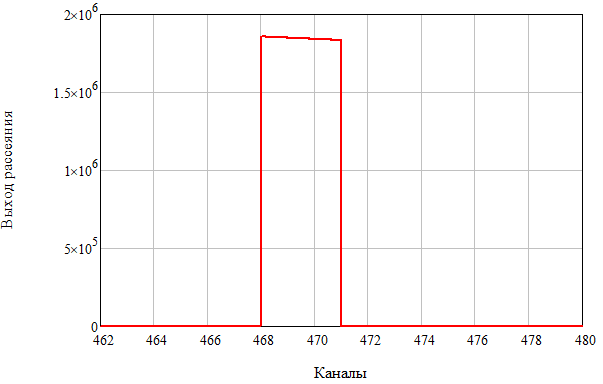


Рисунок 7. Спектр обратного рассеяния Pb по каналам.

**Se**

По формуле (5) кинематический фактор: и тогда энергия после соударения (правая граница): .

По формуле (3) сечение торможения при энергии : и тогда по формуле (8) скорость потерь энергии .

По формуле (9) коэффициент энергетических потерь обратного рассеяния при и : .

Таким образом, ширина спектра по энергии: и энергия после соударения (левая граница):

По формуле (6) сечение рассеяния при энергии : и поправка 0.033 %.

По формуле (7) выход рассеянияпри : .

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

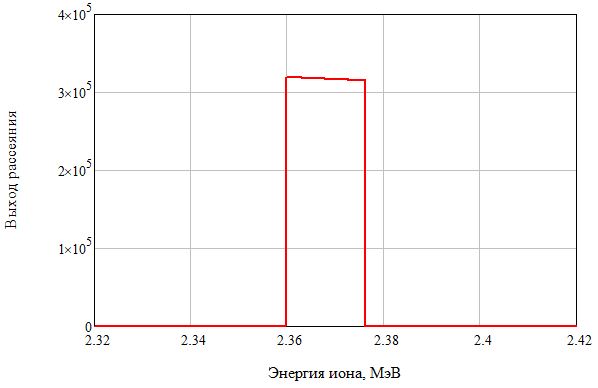


Рисунок 8. Спектр обратного рассеяния Se по энергии.

Переход от энергии к каналам: и

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

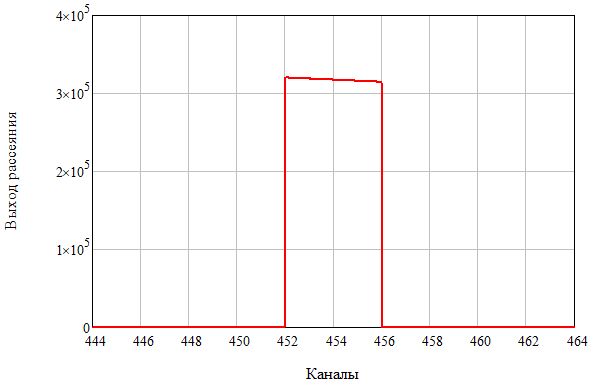


Рисунок 9. Спектр обратного рассеяния Se по каналам.

**Подложка Ga2O3**

По формуле (4) концентрация атомов мишени: .

**Ga**

По формуле (5) кинематический фактор: , энергия на входе и тогда энергия после соударения (правая граница): .

По формуле (3) сечение торможения при энергии : и тогда по формуле (8) скорость потерь энергии .

С учётом коэффициента энергетических потерь обратного рассеяния – ширина спектра по энергии:

По формуле (6) сечение рассеяния при : и поправка 0.042 %.

По формуле (7) выход рассеянияпри : .

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

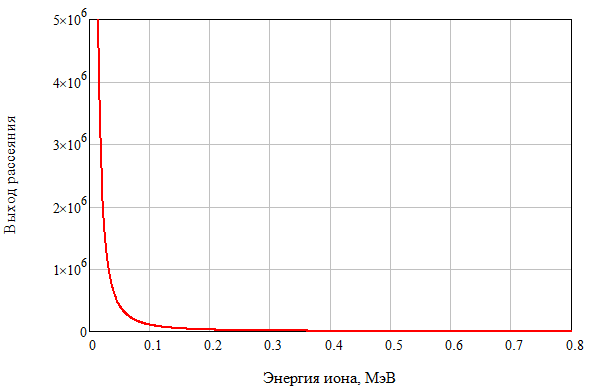


Рисунок 10. Спектр обратного рассеяния Ga по энергии.

Переход от энергии к каналам:

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

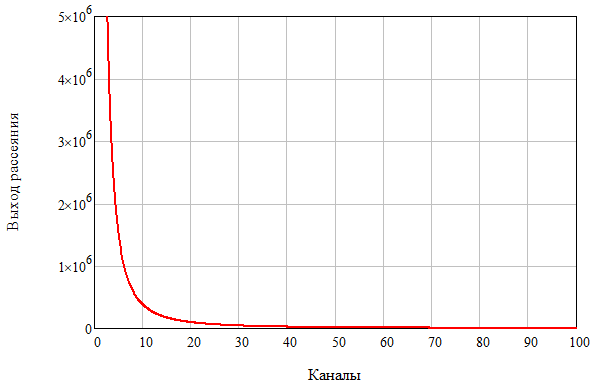


Рисунок 11. Спектр обратного рассеяния Gaпо каналам.

## As

По формуле (5) кинематический фактор: ,энергия на входеи тогда энергия после соударения (правая граница): .

По формуле (3) сечение торможения при энергии : и тогда по формуле (8) скорость потерь энергии .

С учётом коэффициента энергетических потерь обратного рассеяния – ширина спектра по энергии:

По формуле (6) сечение рассеяния при : и поправка 0.036 %.

По формуле (7) выход рассеянияпри : .

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

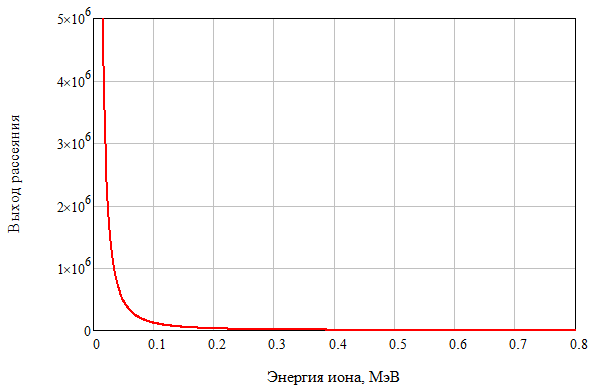


Рисунок 12. Спектр обратного рассеяния As по энергии.

Переход от энергии к каналам:

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

при

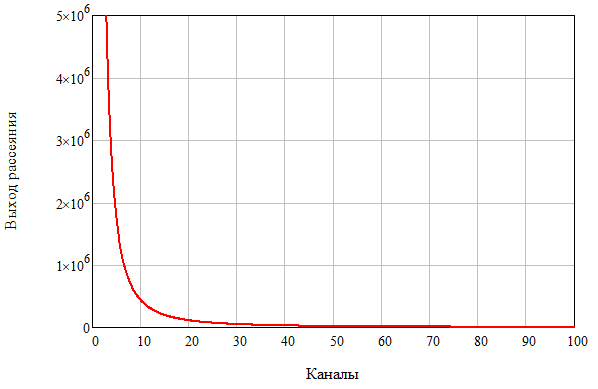


Рисунок 13. Спектр обратного рассеяния Asпо каналам.

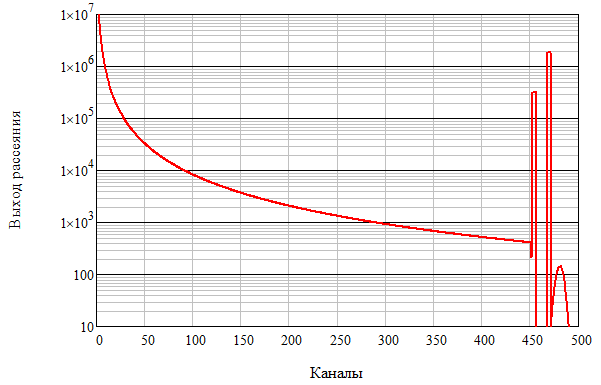


Рисунок 14. Общий спектр обратного рассеяния по каналам.

### Построение спектра

Металл

Распределение частиц по энергиям подчиняется законам Гаусса:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Таким образом, спектр обратного рассеяния:

.

Переход от энергии к каналам:

Распределение частиц по каналам:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Таким образом, спектр обратного рассеяния: