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 3](#_Toc117286376)

[3. Задание 4](#_Toc117286377)

[4. Расчёт 5](#_Toc117286378)

[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 5](#_Toc117286379)

[4.2. Постройте спектр обратного рассеяния, укажите особенности спектра (начало, конец, высоту и ширину) 7](#_Toc117286380)

[4.2.1. Металл IN 9](#_Toc117286381)

[4.2.2. Плёнка VO2 10](#_Toc117286382)

[4.2.3. Подложка Ga2O3 12](#_Toc117286383)

[4.2.4. Построение спектра 14](#_Toc117286384)

# 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 .

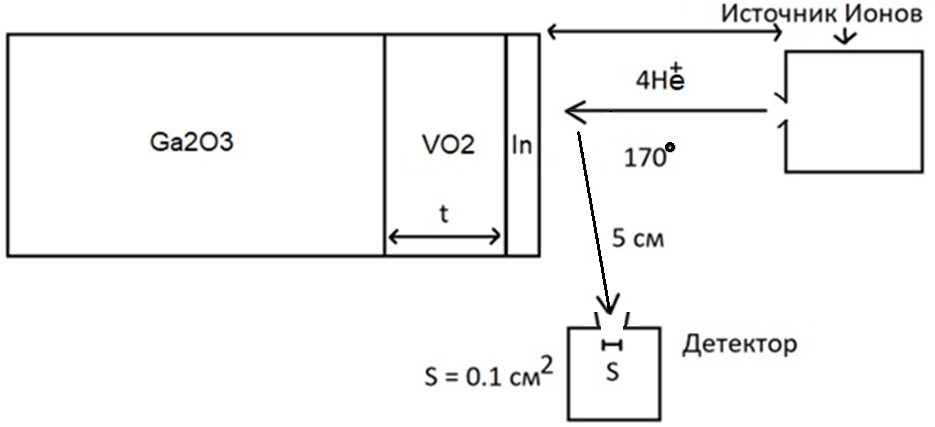


Рисунок Подложка Ga2O3 с напылённой на неё плёнкой VO2 и покрытой сверху тонким слоем металла In

# 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:

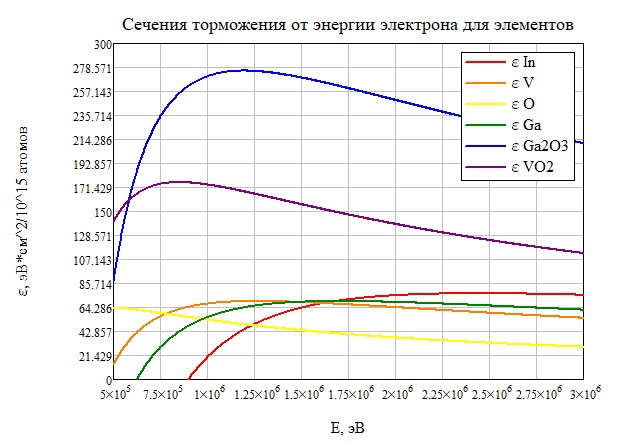


Рисунок Зависимость сечения торможения от энергии иона для плёнки VO2

## 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 (высота спектра):

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

Скорость потерь энергии:

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

где сечения торможения вычисляется по (2)

Коэффициент энергетических потерь обратного рассеяния:

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

Ширина спектра:

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

Левая граница спектра:

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

Разрешение по энергии:

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

где – разрешение от страгглинга.

### 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

Воспользовавшись вышеизложенными формулами получим следующие параметры:

(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:

(14) разрешение по энергии:

### Подложка Ga2O3

При расчете сечения торможения необходимо учесть потерю энергии на торможении в плёнке, и брать значение энергии не , а :

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

Также изменится и формула расчёта энергии после соударения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |
| Далее воспользовавшись вышеизложенными формулами получим следующие параметры: |  |

(3) сечение торможения:

(4) концентрация атомов мишени:

(5) кинематический фактор:

(16) 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:

### Построение спектра

Для построения спектра необходимо учитывать, что поток ионов регистрируется детектором с конечными параметрами приёма, а именно:

Разрешение детектора:

Энергия нулевого канала:

Ширина канала: .

Поэтому необходимо произвести перерасчёт с учётом данных параметров по каналам.

Граница канала по границе спектра:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

Также для построения используется распределение Гаусса:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

где математическое ожидание берётся равным границе спектра, дисперсия .

Итоговая функция для построения:

- среднее значение выхода рассеяния, что использует в своём вычислении среднюю энергию (по схожей формуле вычисляется и ):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

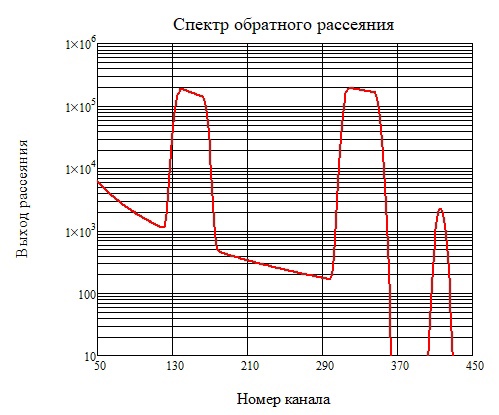


Рисунок Общий спектр обратного рассеяния по каналам