

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## Горячие электроны в полупроводниках

выполнили студентки 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Михайлова Софья

Долгопрудный, 2019 г.

# 1 Цель работы

1. Определить частоту СВЧ-волны, генерируемой диодом Ганна;
2. Построить вольт-амперную характеристику диода Ганна и объяснить происхождение различных её участков.

# 2 Теоретические положения

В работе изучается влияние сильного электрического поля на электропроводность полупроводников, а также эффекты, связанные с возникновением отрицательной дифференциальной проводимости при разогреве электронов.

Эффект разогрева электронов заключается в том, что при воздействии на свободные электроны внешних сил, например электрического поля, средняя энергия электронного газа может существенно превысить своё равновесное значение, в то время как энергия решётки будет оставаться почти без изменения. Это явление характерно для сравнительно слабо легированных полупроводников ( $n \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ), в этом случае теплоёмкость решётки намного превышает теплоёмкость электронного газа, и её можно рассматривать как термостат с температурой, не зависящей от электрического поля.

При наличии достаточно частых (есть ограничения на минимальную концентрацию электронов) межэлектронных столкновений функция распределения близка к распределению Максвелла-Больцмана с температурой  $T_e$ . Изменение вида функции распределения в сильном электрическом поле приводит к тому, что подвижность электронов становится функцией электрического поля. В частности, можно показать, что подвижность является степенной функцией поля: в случае рассеивания на акустических фононах  $\mu \sim E^{-1/2}$ , в случае рассеивания на оптических фононах возможна зависимость  $\mu \sim E^{-1}$ .

Полупроводниковые кристаллы обладают анизотропией, в пределах зоны Бриллюэна есть несколько минимумов зоны проводимости, которые характеризуются различной эффективной массой. В некоторых полупроводниках группы  $A^3B^5$ , в частности GaAs, более высоко расположенные минимумы характеризуются большей эффективной массой, чем низко расположенные. Поэтому когда электроны, разогреты полем, становятся способными перейти из нижней долины в верхнюю, они «тяжелееют», подвижность их уменьшается, это приводит к уменьшению проводимости в сильном поле. С увеличением приложенного поля вероятность перехода электронов из нижней долины в верхнюю увеличивается настолько, что, начиная с некоторого порогового значения поля дифференциальная проводимость становится отрицательной.

Следствием отрицательной проводимости является неустойчивость тока в полупроводнике. На участке отрицательной дифференциальной проводимости любая случайная флуктуация поля объёмного заряда в кристалле имеет тенденцию к нарастанию, возникают участки сильного поля в кристалле, называемые доменами. Домены могут быть статическими (при их возникновении ток в образце приходит к насыщению или даже уменьшается при увеличении напряжения) и динамические (при их возникновении начинается генерация периодических колебаний тока в образце).

# 3 Лабораторная установка

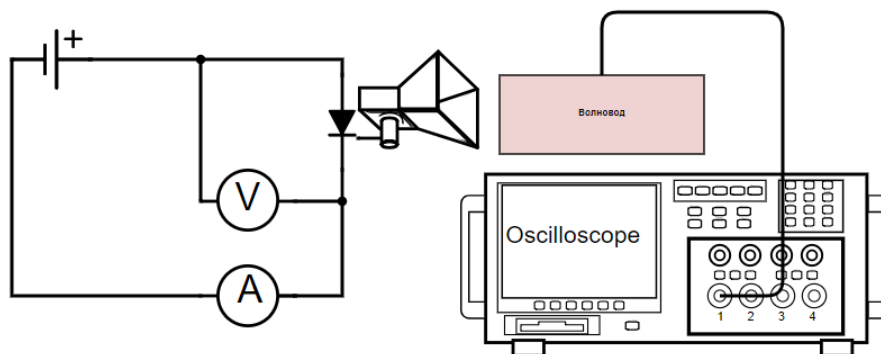


Рис. 1: Принципиальная схема экспериментальной установки

Схема установки для измерения параметров диода Ганна изображена на рис. 1. Диод запитан от источника постоянного напряжения, к нему подключены амперметр и вольтметр. От диода имеется выход

к волноводу, в котором возникает стоячая СВЧ – волна. К волноводу подсоединён осциллограф.

## 4 Ход работы

1. Снимем зависимость интенсивности стоячей волны в волноводу от координаты контакта осциллографа. В таблицу 1 запишем координаты пучностей в волноводу, длина волны будет равна удвоенному расстоянию между пучностями. На рис. 2 изображён график зависимости координаты пучности от её номера. Рассчитаем также частоту генерируемой диодом Ганна волны.

Таблица 1: Координаты пучностей в волноводу

Номер пучности	1	2	3	4	5
Координата, см	2.60	8.50	14.35	20.20	26.05

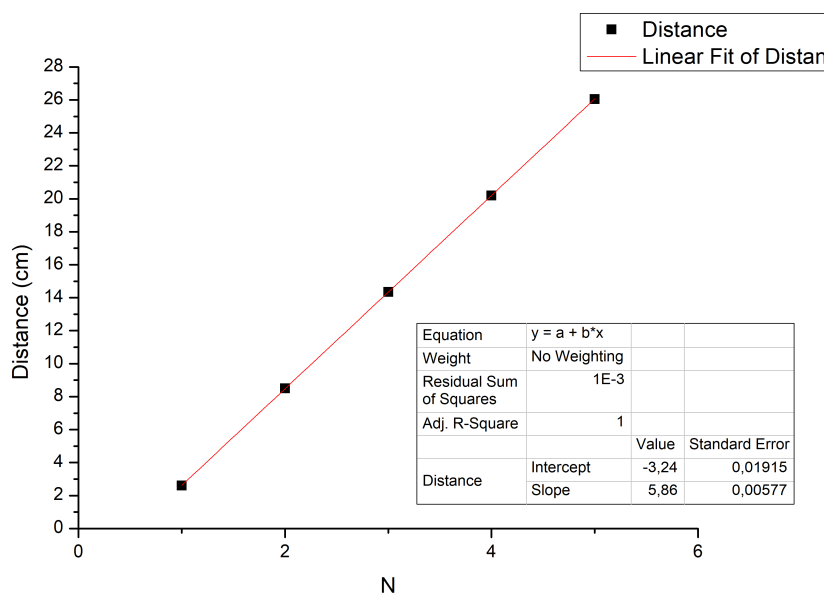


Рис. 2: Определение длины волны, генерируемой диодом Ганна

Длина волны – 11.72 мм

Частота – 25.60 ГГц

2. Снимем зависимость тока через диод от приложенного напряжения, результаты занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Вольт-амперная характеристика диода Ганна

U, V	1,96	1,82	1,74	1,64	1,55	1,46	1,36	1,25	1,15	1,05	0,96
I, A	0,72	0,73	0,74	0,77	0,79	0,79	0,77	0,74	0,70	0,65	0,55

Построим вольт-амперную характеристику диода Ганна в двойном логарифмическом масштабе (рис. 3), проанализируем её характерные участки.

- (a) Линейный участок ( $k = 1.11$ , было снято мало точек) - диод Ганна ведёт себя как резистор с положительным дифференциальным сопротивлением, выполняется закон Ома
- (b) Участок с ( $k \approx 0.34$ ) - подвижность электронов зависит от приложенного поля как  $\mu \propto E^{-1/2}$ , происходит рассеяние электронов на акустических фононах кристаллической решётки

- (с) Участок отрицательного дифференциального сопротивления ( $k \approx -0.17$ ) - при сильном поле малые флуктуации заряда приводят к образованию доменов сильного поля в материале полупроводника. Образование статических доменов приводит к насыщению или уменьшению тока через образец с ростом напряжения, образование движущихся доменов приводит к возникновению периодических колебаний тока в образце. Первый пункт работы выполнялся на участке отрицательного дифференциального сопротивления.

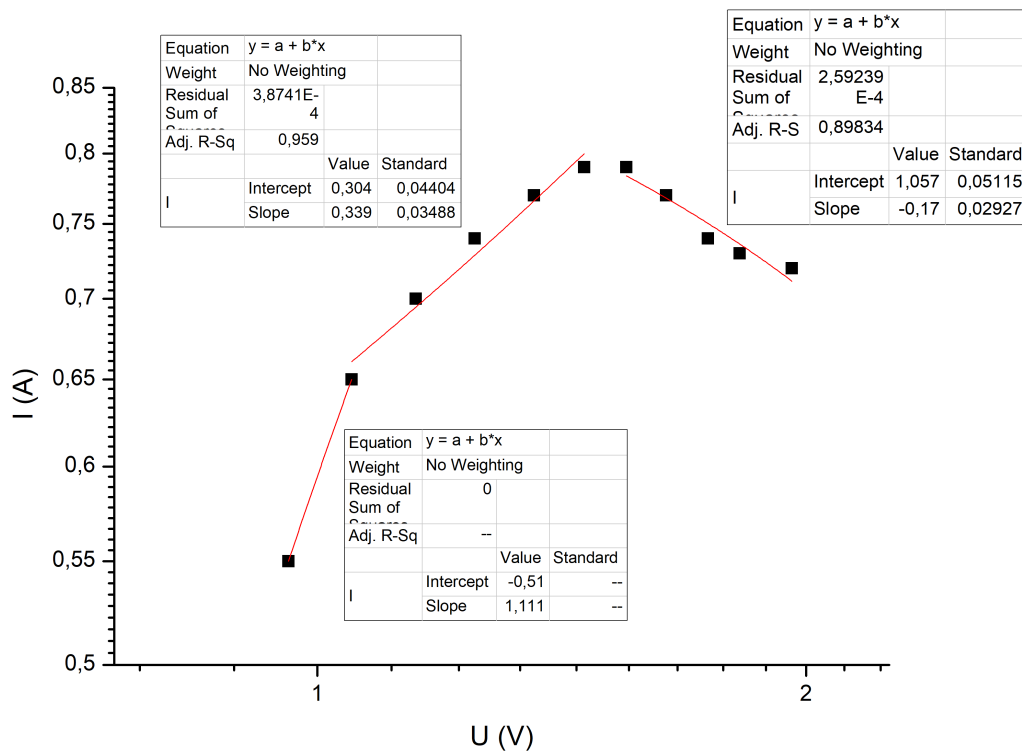


Рис. 3: Вольт-амперная характеристика диода Ганна

## 5 Вывод

1. В ходе работы было обнаружено, что диод Ганна генерирует СВЧ-излучение с частотой 25,6 ГГц
2. Была измерена вольт-амперная характеристика диода Ганна и проанализированы её участки: на первом участке диод подчиняется закону Ома, на сублинейном участке нелинейность можно объяснить рассеянием на акустических фоновых, на третьем участке (отрицательное дифференциальное сопротивление) происходит генерация СВЧ-излучения.