

Отчёт по лабораторной работе №10
ТЕМА

Плюскова Н.,
Богатова Е.,
Атласов В.,
Соколов А.

17 сентября 2023 г.

1. Теоретические данные

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 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).

2. Экспериментальная установка

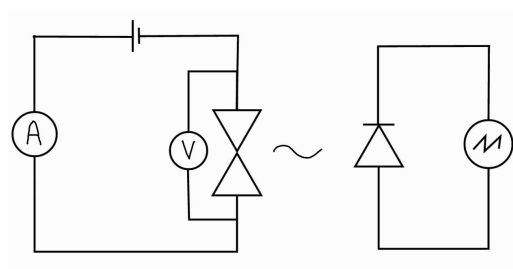


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

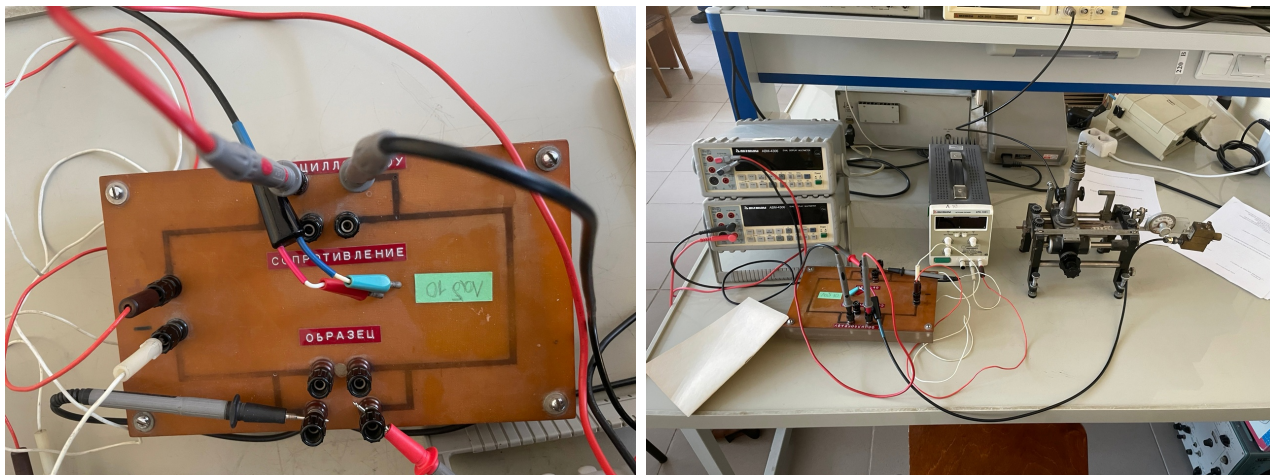


Рис. 2: Фотографии экспериментальной установки

3. Результаты эксперимента и обработка данных

Собрав и настроив установку, получим зависимость координаты пучности от ее порядкового номера:

| Номер пучности | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Значения координаты, мм | 9,25 | 13,85 | 18,10 | 22,05 | 26,45 | 30,25 | 34,75 | 39,10 |

Таблица 1: Координаты пучности и их порядковые номера

По данным таблицы 1 построим соответствующий график:

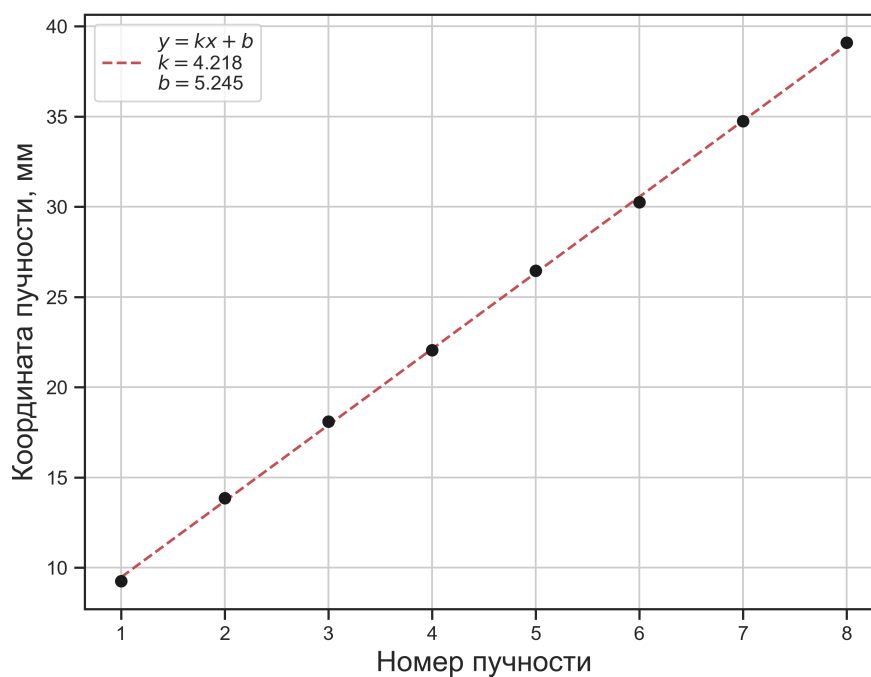


Рис. 3: Зависимость координаты пучности от её порядкового номера

Из графика 3 получим половину длины волны как коэффициент наклона и частоту генерации соответственно:

$$\frac{\lambda}{2} = 4.22 \pm 0.05 \text{ мм} \Rightarrow \lambda = 8.4 \pm 0.1 \text{ мм};$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \approx 35.5 \pm 0.4 \text{ ГГц}$$

Погрешность для $\frac{\lambda}{2}$ берём равной цене деления штангенциркуля, так как погрешность, связанная с фитом по МНК, получается много меньше.

Погрешность для λ и ν рассчитываем как погрешность косвенного измерения. Для λ она получается просто в два раза больше погрешности для $\frac{\lambda}{2}$, а для ν : $\sigma_\nu = \frac{c}{\lambda^2} \sigma_\lambda$.

Исследуем ВАХ диода Ганна и построим соответствующий график:

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| U, мВ | 1778,9 | 1772,3 | 1761 | 1757,5 | 1748,3 | 1720,1 | 1661,4 | 1639 | 1592,5 | 1536,5 | 1484 |
| I, мА | 964,9 | 978,8 | 980,7 | 983,8 | 982,7 | 987,6 | 1002 | 1003,9 | 1008,9 | 1014,7 | 1019,9 |
| logU | 3,25 | 3,249 | 3,246 | 3,245 | 3,243 | 3,236 | 3,22 | 3,215 | 3,202 | 3,187 | 3,171 |
| logI | 2,984 | 2,991 | 2,992 | 2,993 | 2,992 | 2,995 | 3,001 | 3,002 | 3,004 | 3,006 | 3,009 |
| U, мВ | 1388 | 1272,2 | 1193,5 | 1055,5 | 963 | 849 | 725 | 642,4 | 519 | 420 | |
| I, мА | 1027,5 | 1034,8 | 1033,8 | 1008,7 | 944,6 | 865 | 779,8 | 705 | 584 | 283,1 | |
| logU | 3,142 | 3,105 | 3,077 | 3,023 | 2,984 | 2,929 | 2,86 | 2,808 | 2,715 | 2,623 | |
| logI | 3,012 | 3,015 | 3,014 | 3,004 | 2,975 | 2,937 | 2,892 | 2,848 | 2,766 | 2,452 | |

Таблица 2: Данные напряжения и силы тока на диоде

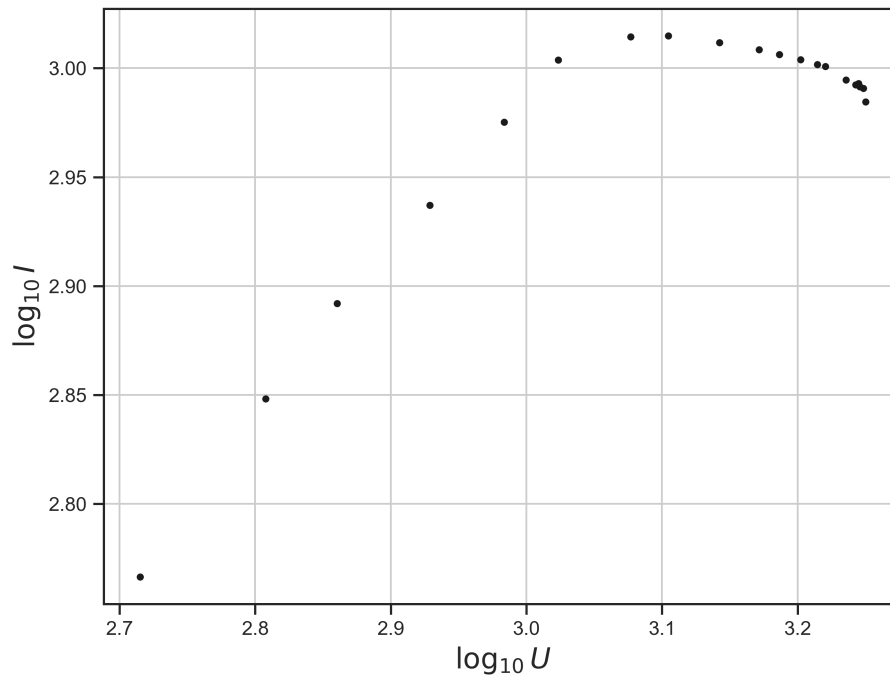


Рис. 4: ВАХ диода Ганна

4. Вывод

В работе были изучены влияние сильного электрического поля на электропроводность полупроводников, а также эффекты, связанные с возникновением отрицательной дифференциальной проводимости при разогреве электронов. В ходе эксперимента была найдена частота генерации ($\nu = 35.5 \pm 0.2$ ГГц) и построена ВАХ диода Ганна. Качественный вид ВАХ диода Ганна согласуется с теорией.