

ГЕНЕРАЦИЯ ТГЦ ИЗЛУЧЕНИЯ В P-I-N СТРУКТУРАХ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Иванович В.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь
Малевич В.Л. – доктор физ.-мат. наук

Аннотация. Современные исследования показывают, что использование различных полупроводниковых материалов позволяет повысить эффективность генерации ТГц излучения. Полупроводниковые р-і-п структуры являются перспективной платформой для генерации ТГц волн под воздействием фемтосекундных лазерных импульсов. Развитие данных технологий открывает перспективы в области спектроскопии, медицинской диагностики и беспроводной связи, что делает исследование генерации ТГц излучения особенно актуальным. В данной работе рассматриваются основные физические принципы этих явлений.

Ключевые слова. ТГц излучение, р-і-п структуры, фемтосекундные лазерные импульсы, эффект фото-Дембера, оптическая ректификация, встроенное электрическое поле.

Генерация ТГц излучения в полупроводниковых структурах представляет собой актуальное направление современной оптоэлектроники. Использование р-і-п структур позволяет эффективно преобразовывать энергию лазерного излучения в ТГц сигнал. Одним из ключевых механизмов является эффект фото-Дембера, возникающий из-за разницы подвижностей электронов и дырок. Когда лазерный импульс с энергией фотонов, превышающей энергию полосовой щели, освещает полупроводниковую пластину, в результате поглощения лазерных фотонов образуются пары свободных электронов-дырок. Лазерный луч сильно поглощается полупроводниковым материалом, поэтому фотоиндуцированные пары электронных дырок имеют очень неоднородное распределение вблизи поверхности. Асимметричное распределение заставляет электроны и дырки диффундировать внутрь, где скорость диффузии составляет:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial z^2} \quad (1),$$

где z - единица измерения координат в направлении внутрь полупроводника, D - константа диффузии, которая может быть получена из соотношения Эйнштейна как $D = k_b T \mu$. Поскольку электроны обладают большей подвижностью, чем дырки, они способны диффундировать быстрее. Различная скорость диффузии электронов и дырок приводит к разделению зарядов в полупроводнике и генерирует переходное фотодембровское поле. Эмиссия переходного фотодембровского поля генерирует ТГц-излучение. На рисунке 1 показана концепция фотозффекта Дембера.

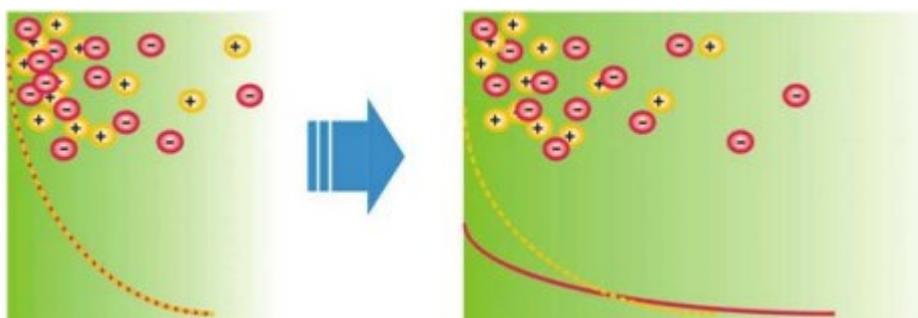


Рисунок 1 - Фотозффект Дембера на поверхности InAs

Еще одним механизмом генерации является оптическая ректификация, основанная на нелинейных свойствах среды. По сути, это генерация с разностью частот, когда разность частот близка к нулю. Обычно для генерации ТГц из электрооптических кристаллов с помощью оптического выпрямления используются фемтосекундные лазерные импульсы. Поскольку фемтосекундный импульс содержит множество частотных компонент, любые две частотные компоненты вносят вклад в разностную частоту, а общий результат представляет собой взвешенную сумму всех вкладов. Для возбуждения излучения оптического выпрямления достаточно одного фемтосекундного лазерного импульса, что делает эксперимент очень простым.

Встроенное электрическое поле в i-области p-i-n структуры ускоряет носители заряда, способствуя генерации ТГц излучения. При возбуждении лазерным импульсом образуются электронно-дырочные пары, которые разделяются под действием внутреннего поля, создавая направленный фототок. Эффективность этого механизма зависит от свойств материала и уровня легирования. В таких полупроводниках, как GaAs и InAs, встроенное поле позволяет генерировать мощные ТГц сигналы. Комбинирование этого эффекта с другими механизмами увеличивает эффективность преобразования энергии лазерных импульсов в ТГц излучение. В таблице 2.1 приведено сравнение свойств InAs и GaAs

Таблица 1 - сравнение свойств GaAs и InAs

	Ширина запрещенной зоны (эВ)	Подвижность электронов (см ² В ⁻¹ с ⁻¹) ¹⁾	Глубина поглощения (нм)	Остаточная энергия (эВ)
GaAs	1.43	8500	1000	0.05
InAs	0.35	40000	150	0.5

Список использованных источников:

1. Zhang X.-C., Xu J. Introduction to THz Wave Photonics. – Springer, 2010.
2. Tonouchi M. Cutting-edge terahertz technology. – *Nature Photonics*, 2007. – Vol. 1, P. 97-105.
3. Wu Q., Zhang X.-C. Free-space electro-optic sampling of terahertz beams. – *Appl. Phys. Lett.*, 1995. – Vol. 67, P. 3523-3525.