

СПЕКТРАЛЬНАЯ ИНВЕРСИЯ ЗНАКА ЭФФЕКТА УВЛЕЧЕНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ФОТОНАМИ В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

С.Д.Ганичев, С.А.Емельянов, И.Д.Ярошецкий

Обнаружена двухкратная инверсия знака тока увлечения в дырочном германии при воздействии мощного импульсного лазерного излучения в диапазоне длин волн от 10,6 мкм до 385 мкм. Установлено, что инверсия в коротковолновой области связана с доминирующим вкладом тока легких дырок. Инверсия в длинноволновой области связана с преобладанием тока увлечения за счет внутризонных "непрямых" переходов в легкой и тяжелой подзонах.

В последние годы был обнаружен эффект увлечения электронов фотонами в полупроводниках (см., например ¹). Исследование этого эффекта производилось, в основном, в области спектра в районе 10,6 мкм. Работа ² ограничилась лишь констатацией факта наличия увлечения носителей заряда фотонами на длинах волн 337 и 385 мкм.

В настоящей работе сообщается об обнаружении двухкратной инверсии знака тока увлечения в дальнем ИК диапазоне (10,6 – 400) мкм в дырочном германии при $T = 300\text{К}$.

1. Измерение эффекта увлечения в субмиллиметровой области спектра проводилось на установке, схема которой приведена на рис. 1. В качестве источника излучения использовался мощный перестраиваемый импульсный субмиллиметровый лазер на D_2O с оптической накачкой от CO_2 лазера. Перестройка длины волны излучения осуществлялась за счет изменения длины волны CO_2 лазера накачки. Длина волны излучения измерялась интерферометром Майкельсона. Энергия излучения измерялась с помощью ИМО-2.

2. Экспериментальные результаты для p -Ge приведены на рис. 2. Эксперименты проводились на образцах p -Ge с концентрацией $p = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при $T = 300\text{К}$. Из рисунка видно, что при увеличении длины волны излучения свыше 10 мкм происходит двухкратная смена знака суммарного тока увлечения. С целью выяснения природы этого эффекта были проведены сравнительные эксперименты на образцах n -Ge. При этом оказалось, что инверсия зна-

ка наблюдается только в образцах p -Ge, что свидетельствует о том, что причиной наблюдаемого явления является сложная структура валентной зоны дырочного германия.

3. Объяснение наблюдаемого эффекта может быть дано в рамках модели, предложенной в работе ³. Согласно этой модели ток увлечения формируется как сумма двух токов в тяжелой и легкой подзонах валентной зоны p -Ge при прямых оптических переходах между ними. Помимо этого может играть существенную роль и механизм увлечения, связанный с переходами внутри каждой из подзон (ток увлечения при непрямых переходах).

В области 10 мкм при $T = 300\text{K}$ основной вклад в суммарный ток увлечения, направленный вдоль направления распространения света, дает ток тяжелых дырок при прямых переходах вследствие малых времен релаксации носителей по импульсу в легкой подзоне.

При уменьшении энергии возбуждающих квантов и рождении легких дырок с энергиями вблизи энергии оптического фотона, времена релаксации носителей по импульсу в легкой и тяжелой подзонах становятся соизмеримыми. В этих условиях за счет меньшей эффектив-

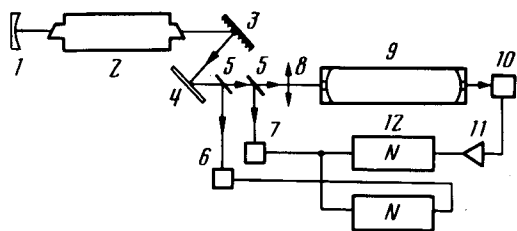


Рис. 1. Блок схема экспериментальной установки для измерения эффекта увлечения в субмиллиметровой области спектра. 1 – зеркало, 2 – кювета CO_2 -лазера. 3 – эшелетт, 4 – поворотное зеркало, 5 – делительные пластинки из NaCl , 6 – фотоприемник на основе эффекта увлечения электронов фотонами типа ФПУ-50 ⁴. 7 – фотоприемник $\text{Ge} + \text{Au}$ для запуска осциллографов, 8 – линза, 9 – лазер, 10 – образец. 11 – усилитель. 12 – осциллограф

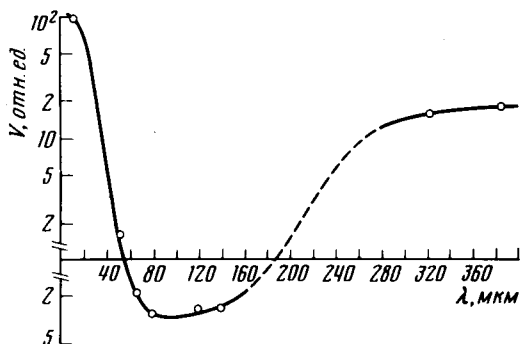


Рис. 2.

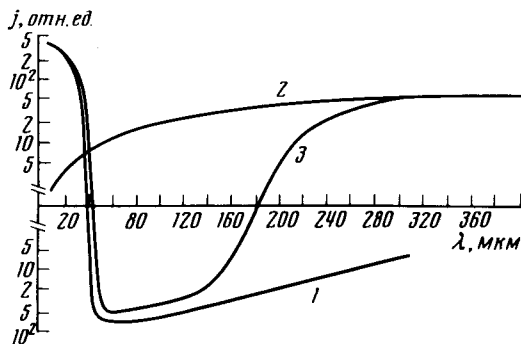


Рис. 3.

Рис. 2. Спектральный ход ЭДС увлечения, нормированной на единицу мощности в p -Ge, $p = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, при $T = 300\text{K}$

Рис. 3. Расчетные зависимости тока увлечения для различных механизмов его формирования, нормированного на единицу интенсивности света. 1 – ток увлечения за счет "прямых" переходов; 2 – ток увлечения за счет "непрямых" переходов; 3 – суммарный ток увлечения

ной массы носителей ток легких дырок при прямых переходах может превысить ток тяжелых дырок. Это приведет к изменению знака суммарного тока увлечения при условии малости вклада тока увлечения при "непрямых" переходах. При дальнейшем уменьшении энергии возбуждающих квантов происходит значительное увеличение сечения поглощения для "непрямых" переходов и доминирующим становится механизм образования тока увлечения за счет внутризонных "непрямых" переходов в легкой и тяжелых подзонах. В результате имеет место вторичная инверсия знака суммарного тока увлечения.

Нами был произведен расчет спектральной зависимости тока увлечения в диапазоне от 10 до 400 мкм. Расчет тока увлечения при "прямых" переходах производился на основании соответствующих формул для токов увлечения тяжелых и легких дырок, приведенных в ³. Расчет для тока увлечения при "непрямых" переходах производился на основании теории развитой в ⁵ для случая преобладания рассеяния на акустических фотонах с учетом влияния обоих подзон. Коэффициенты поглощения для "прямых" переходов вычислялись в соответствии с работой ⁶. Расчетные кривые для каждого из указанных выше механизмов формирования тока увлечения, а также спектральный ход суммарного тока увлечения приведены соответственно на рис. 3. Ясно видно качественное соответствие экспериментальных и теоретических данных.

Таким образом в настоящей работе удалось экспериментально обнаружить двухкратную спектральную инверсию знака тока увлечения и впервые наблюдать доминирующий вклад легких дырок в формирование тока увлечения.

Литература

1. Рывкин С.М., Ярошецкий И.Д. Проблемы современной физики, а 173, Ленинград 1980 г.
2. Kimmitt M.F., Serafetinides A.A., Roser H.P., Huckridge P.A. J. Phys., V18, p. 675 –678.
3. Данишевский А.М., Костальский А.А., Рывкин С.М., Ярошецкий И.Д. ЖЭТФ, 1970, 58, 544.
4. Валов П.М., Гончаренко К.В., Марков Ю.В., Першин В.В., Рывкин С.М., Ярошецкий И.Д. Квантовая электроника, 1977, 1, 95.
5. Брынских Н.А., Гринберг А.А., Имамов Э.З. ФТП. 1971, 5, 1735.
6. Ребанс Ю.Т. ФТП, 1980, 14, 289.