

НАБЛЮДЕНИЕ СПЕКТРА СВОБОДНЫХ ЭКСИТОНОВ НА СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

Е.М.Гершензон, Г.Н.Гольцман, Н.Г.Птицина

Обычно экситоны изучаются в оптическом диапазоне волн. Тем не менее, особый интерес представляет их исследование на субмиллиметровых волнах, которым соответствуют характеристические частоты переходов экситонов с основного в возбужденные состояния [1]. Детальный анализ таких переходов кроме изучения энергетического спектра свободных экситонов открывает совершенно новые возможности: исследования их взаимодействия между собой, с фононами, свободными носителями и т.п. Однако, в настоящее время такие эксперименты только начинаются. В [2] методами длинноволновой инфракрасной спектроскопии наблюдалась широкая область поглощения в германии в диапазоне 2 – 6 мэв, которая, по-видимому, объясняется неразрешенными линиями экситонных переходов при достаточно высокой температуре ($\sim 7^{\circ}\text{K}$) и в условиях их существенного взаимодействия. Индикация переходов с основного на возбужденные состояния для свободных экситонов при их малых концентрациях и низкой температуре требует более чувствительной спектроскопической аппаратуры.

Нами наблюдались узкие линии переходов экситонов в германии с основного состояния в возбужденные на субмиллиметровом спектрометре с лампами обратной волны, который обладает значительно более высокими чувствительностью и разрешением [3, 4]. Использовались образцы Ge с суммарной концентрацией примесей $N_D + N_A \approx 10^{12} \text{ см}^{-3}$, так как эксперименты [3, 5] показали, что иначе в поглощение и фотопроводимость германия значительный вклад вносят эффекты, обусловленные примесями: интервалу энергии, где должны наблюдаться экситонные линии, соответствуют переходы между возбужденными состояниями примеси и фотоионизация D^- и A^+ -центров. Эксперименты проводились в диапазонах волн 2000 – 500 мкм, 400 – 345 мкм и 310 – 250 мкм (разрывы в спектре связаны с отсутствием у нас соответствующих генераторов излучения). Температура изменялась от 4,2 до 1,6°K, уровень оптической генерации электронно-дырочных пар составлял $10^{15} - 10^{17} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Усредненная по образцу концентрация экситонов n_3 не превышала 10^{13} см^{-3} (толщина образца $\sim 1 \text{ мм}$), спектры могли записываться до $n_3 \approx 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

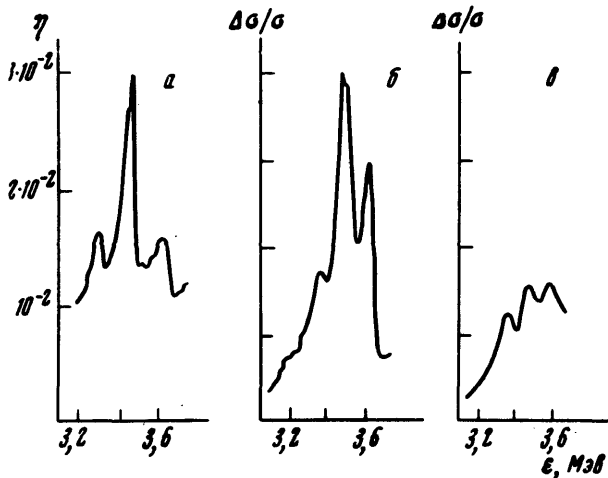


Рис. 1

В интервале энергий 3,2 – 3,6 мэв наблюдались линии поглощения и фотопроводимости, а в интервале 4 – 5 мэв – нерезонансная фотопроводимость, обусловленные свободным экситонам. На рис. 1 приведены: спектры поглощения η а и фотопроводимости $\Delta\sigma/\sigma$ б при $T = 1,6^\circ\text{K}$ и спектр фотопроводимости (σ) при $T = 4,2^\circ\text{K}$; эксперимент проводился при $n_3 \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$.

Видны три хорошо разрешенных линии с энергиями 3,58, 3,42, 3,3 мэв, имеющие ширину $\sim 0,05 \text{ мэв}$. Положение линий в спектрах поглощения и фотопроводимости одно и то же и не зависит от температуры, относительные интенсивности существенно различаются. При увеличении температуры линии становятся шире.

Интенсивность линий как фотопроводимости, так и поглощения сильно зависит от электрического поля, приложенного к образцу Ge. На рис. 2 показана зависимость коэффициента поглощения излучения образцом

$$\eta = \frac{P_{\text{погл}}}{P_{\text{пад}}} \quad (P_{\text{погл}}, P_{\text{пад}} - \text{поглощенная образцом}$$

и падающая на него мощность) от напряженности электрического поля E , снятая для линии с энергией $3,42 \text{ мэв}$ при $T = 1,6^\circ\text{К}$. До полей $E \approx 2 \text{ в/см}$ поглощение не меняется, в интервале от 2 до 8 в/см уменьшается примерно на два порядка. Изменение концентрации экситонов вдвое соответствует $E = 3,5 \text{ в/см}$, что хорошо согласуется с литературными данными по ударной ионизации экситонов (например, [6]). Интенсивность линий фотопроводимости при $T = 1,6^\circ\text{К}$ сильно растет с увеличением E до $3,5 \text{ в/см}$, а затем уменьшается. При $T = 4,2^\circ\text{К}$ в слабых электрических полях наблюдается лишь незначительный рост интенсивности линий.

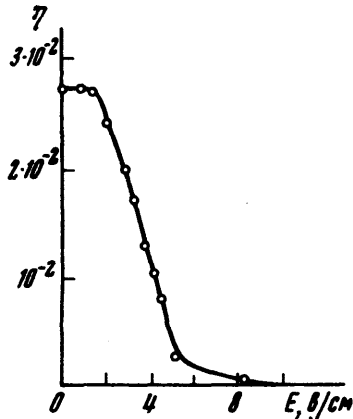


Рис. 2

Увеличение концентрации экситонов от 10^{10} до 10^{13} см^{-3} не приводит к заметным изменениям в спектрах, а поглощение излучения образцом растет линейно и достигает 15%. Если изменяется не уровень оптического возбуждения, а варьируются образцы с различным временем жизни экситонов, то это приводит к тем же результатам.

Нерезонансная фотопроводимость в интервале энергий от 4 до 5 мэв примерно на порядок превосходит по величине линии фотопроводимости и резко падает при приложении $E \sim 3,5 \text{ в/см}$.

Анализ экспериментальных результатов показывает, что наблюдаемые линии соответствуют переходам свободных экситонов с основного состояния в возбужденные. Резонансная фотопроводимость реализуется, если возбужденные субмиллиметровым излуче-

нием экситоны диссоциируют под действием фононов или электрического поля. Нерезонансная фотопроводимость, по-видимому, связана с фотоионизацией свободных экситонов.

Московский
педагогический институт
им. В.И. Ленина

Поступила в редакцию
10 июля 1972 г.

Литература

- [1] Е.Ф. Гросс, С.А. Пермогоров, Б.С. Разбирин. УФН, 103, 3, 431, 1971.
 - [2] В.С. Вавилов, В.А. Заяц, В.И. Мурзин. "Краткие сообщения по физике" (ФИАН) № 4, 9, 1971.
 - [3] Г.И. Гольцман. ИТЭ, № 1, 136, 1972.
 - [4] Е.М. Гершензон, Г.И. Гольцман. Письма в ЖЭТФ, 14, 98, 1971.
 - [5] Е.М. Гершензон, Г.И. Гольцман, А.И. Мельников. Письма в ЖЭТФ, 14, 281, 1971.
 - [6] А.А. Рогачев, С.М. Рывкин. ФТН, 1, 1740, 1967.
-