

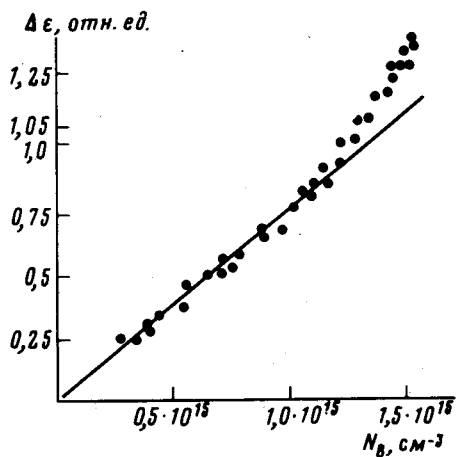
НАБЛЮДЕНИЕ ФОТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОЛЛАПСА НА ВОЗБУЖДЕННЫХ АКЦЕПТОРАХ В ГЕРМАНИИ

В.И.Бочарников, Э.Э.Годик, А.В.Петров

Обнаружена суперлинейная зависимость диэлектрической проницаемости германия от концентрации фотовозбужденных примесей. Показано, что наблюдаемый эффект связан с ростом поляризуемости возбужденных центров вследствие их взаимодействия.

В работах Фаня ¹ было замечено, что при достаточном увеличении концентрации примесей (N_0) зависимость диэлектрической проницаемости полупроводника (ϵ) от N_0 становится суперлинейной (диэлектрический коллапс). Этот эффект является один из механизмов *концентрационной делокализации* примесей. Отклонение от линейной зависимости наблюдалось при существенно меньших концентрациях, чем следует из классической формулы Клазиуса – Мосотти ¹, основанной на модели невзаимодействующих изолированных центров.

Разработка высокочувствительной дифференциальной методики исследования фотодиэлектрических эффектов, связанных с возбуждением примесей (ФДЭ) ², открыла возможность изучения взаимодействия возбужденных центров. Для этого достаточно исследовать величину ФДЭ в зависимости от интенсивности возбуждающего излучения.



Зависимость фотоиндуцированного изменения диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$ от концентрации фото-возбужденных примесей N_B

Для обнаружения такого фотодиэлектрического коллапса мы использовали образцы германия, легированного галлием в концентрации $1 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и компенсированного сурьмой в концентрации $2 \cdot 10^{15} \div 1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Выбор мелких акцепторов в качестве объекта исследования связан с их аномально большим временем жизни τ_B в первом возбужденном состоянии ($\tau_B \sim 10^{-7} \text{ с}$)³. Пропорционально τ_B растет концентрация возбужденных примесей N_B , а следовательно и величина эффекта. Кроме того, в использованной нами схеме заселения возбужденных состояний излучением CO_2 -лазера ($h\nu \gg E_i$, E_i — энергия ионизации примесей)² большое время жизни возбужденных состояний τ_B позволяет устранить влияние экранирования, связанного со свободными носителями. Действительно, в достаточно компенсированных образцах время жизни дырок τ_c на два порядка меньше времени возбужденных примесей τ_B (τ_c порядка времени релаксации энергии: τ_ϵ порядка 10^{-9} с), т.е. через относительно короткое время после окончания лазерного импульса ($t \gg \tau_c \gg 10^{-8} \text{ с}$) практически все фотодырки находятся в первом возбужденном состоянии галлия.

Концентрация возбужденных примесей определялась по эффекту просветления образца возбуждающим излучением. Действительно, так как τ_B много больше τ_c , то практически все дырки, сорванные с нейтральных атомов галлия, оказываются в первом возбужденном состоянии галлия, т.е. $\Delta N_0 \sim N_B$. На основе теории⁴ можно показать, что сечение фотоионизации возбужденных атомов галлия квантами CO_2 -лазера много меньше, чем для невозбужденных акцепторов, поэтому уменьшение коэффициента поглощения ($\Delta k \sim \sigma_\phi N_B$) является мерой величины N_B . Максимально достигнутая концентрация возбужденных акцепторов составляли величину около $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Результаты исследования зависимости величины ФДЭ от концентрации возбужденных акцепторов приведены на рисунке. Изменение диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$ регистрировалось при помощи измерения глубины фазовой модуляции СВЧ волны, прошедшей через образец. Относительная погрешность измерения $\Delta\epsilon/N_B$ не превышала 3%. Из рисунка видно, что суперлинейный рост ФДЭ начинается существенно раньше, чем это следует из выражения Клазиуса — Мосотти, учитывающего только рост „удельного объема” возбужденных центров ($\frac{4\pi}{3\epsilon} N_B \alpha_B$, где α_B — поляризуемость возбужденных акцепторов). Наблюдаемое отклонение ФДЭ от линейной зависимости можно объяснить изменением поляризуемости возбужденных акцепторов, т.е. геометрии волновых функций вследствие взаимодействия. Теоретическое рассмотрение возможного механизма наблюдаемого фотодиэлектрического коллапса проведено в работе⁵.

Авторы благодарны Э.А.Манькину за обсуждение результатов работы.

Литература

1. *D'Alroy F., Fan H.* Phys. Rev., 1956, 103, 1611.
2. *Петров А.В., Бочарников В.И., Годик Э.Э., Синис В.П.* Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 479.
3. *Гершензон Е.М., Гольцман Г.Н., Орлов А.А., Птицына Н.Г.* Изв. АН СССР, сер. физическая, 1978, 42, 1154.
4. *Коган Ш.М., Полупанов А.Ф.* ЖЭТФ, 1981, 80, 394.
5. *Манькин Э.А., Ожован М.Н., Полуэктов П.П.* Тезисы докладов II Республиканской конференции по фотоэлектрическим явлениям в полупроводниках (Одесса, 1982), стр. 169.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 января 1983 г.