

ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА В ГЕРМАНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ ХАЛЬКОГЕНАМИ

Элементы шестой группы создают в запрещенной зоне германия два глубоких донорных энергетических состояния, соответствующих нейтральному атому и иону примеси. В ряде работ определены энергии ионизации, времена релаксации фотопроводимости, растворимость и другие параметры халькогенов в германии. Гриммайсом и др. [1] исследованы переходы нейтральных атомов халькогенов в возбужденные состояния, а в работах [2-4] в спектральных зависимостях фотопроводимости монокристаллических образцов германия обнаружены переходы в возбужденные состояния ионов халькогенов. Причем, в спектре фотопроводимости германия, легированного теллуrom, возбужденному состоянию соответствует узкий пик приращения фототока. В спектрах германия, легированного примесями серы и селена наблюдается триплет, дающий отрицательный вклад в фототок.

На основании полученных экспериментальных данных сделаны выводы: возбужденное состояние иона теллура локализовано под Γ -точкой зоны Бриллюэна, откуда электроны переходят в L-точку, давая приращение фототока в виде положительного пика. Возбужденные состояния ионов серы и селена расположены под абсолютным минимумом зоны проводимости германия. Отрицательный вклад в фотоэффект в этом случае можно объяснить смещением возбужденных ионов из узла кристаллической решетки при переходе в возбужденное состояние. Дисторсия Франка – Кондона сопровождается значительной потерей энергии, вследствие чего переход электронов в зону проводимости становится маловероятным, и такие переходы не дают вклада в фототок.

Для идентификации состояний, участвующих в оптических переходах, исследуется влияние магнитного поля на вид спектров фотопроводимости (эффект Зеемана). Изменение симметрии примесного центра зависит от ориентации вектора магнитной индукции относительно кристаллографических направлений. Таким образом можно получить информацию о критической точке, с которой связан оптический переход. Использование магнитного поля в качестве внешнего воздействия является эффективным методом исследования энергетического спектра электронов [5].

Экспериментальная установка построена на основе монохроматора ИКМ-1 с призмой из LiF. Образцы для исследования изготовлены в виде pin-структуры путем диффузии халькогена при температуре 840°C в течении 60 часов. Для управления зарядовым состоянием исследуемой донорной примеси необходима компенсация материала мелкой акцепторной примесью (степень компенсации $\kappa = N_{\text{акц}}/N_{\text{хал}}$, где $N_{\text{акц}}$ - концентрация мелкой акцепторной примеси, $N_{\text{хал}}$ - концентрация халькогена). Исходный материал для изготовления образцов - высокоомный дырочный германий, легированный галлием с удельным сопротивлением до 50 Ом·см. В результате компенсации можно получить высокоомную область с проводимостью i-типа. Для создания n-слоя одновременно проводилась диффузия мелкой донорной примеси фосфора, который обладает большой предельной растворимостью $\approx 10^{18} \text{ см}^{-3}$, и меньшим, чем у халькогенов коэффициентом диффузии $D_p \approx 10^{-12} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Область, в которую не успел продиффундировать халькоген остается высокоомной, p-типа проводимости. После проведения процесса диффузии, с одной плоскости образца сошлифовывали диффузионные n-и i-слои до обнажения p-слоя. Омические контакты изготовлены путем электролитического осаждения никеля. Образец с pin-структурой имеет форму диска, ориентированного в плоскости (110). При этом все

основные кристаллографические направления лежат в плоскости образца. Образующая образца отполирована для ввода излучения. Первые эксперименты проведены с образцом германия, легированном теллуром, в магнитном поле с индукцией 1Тл в циркулярно поляризованном свете в спектральном диапазоне 250-450 эВ. Обнаружен зеемановский сдвиг спектров, соответствующих возбужденному состоянию иона теллура, на величину порядка 0,5 мэВ в лево- и право-циркулярнополяризованном свете.

Таким образом, наличие сдвига свидетельствует о участии в оптическом переходе именно иона Te^{+1} , и перспективности применения метода к исследованию возбужденных состояний ионов серы и селена, а обнаруженная изотропия эффекта – о локализации возбужденного состояния иона теллура в центре зоны Бриллюэна.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Grimmeis H.G., Montelius L, Larsson K., Phis.Rev., v. B37, 12, p.6916 (1988).
2. Радчук Н.Б., Ушаков А.Ю. ФТП, т. 19, вып. 4, с.749-750 (1985).
3. Радчук Н.Б., Ушаков А.Ю. IX Всерос. конф. «Фунд. исслед. в техн. универс.»: Тез.докл., С.Петербург, 138-139 (2005).
4. Радчук Н.Б., Ушаков А.Ю., ФТП, т.16, вып. 10, с.1855 (1982).
5. Бассани Ф., Пастори Парравичини Дж. Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах, Москва «Наука», с. 391, 1982г.