

О СПЕКТРАХ ПОГЛОЩЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ АЛМАЗОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Н. Т. Клименкова, Е. О. Прокопчук, В. А. Лантес и Ю. М. Ротнер

Исследовались спектры поглощения синтетических полупроводниковых алмазов *n*- и *p*-типа. Образцы легировались элементами третьей и пятой групп под высоким давлением. Измерения проводились при температуре 300° К в ультрафиолетовой, инфракрасной и видимой областях спектра. Установлена зависимость характера спектра от типа примеси. Количество введенной примеси влияет на оптическую плотность кристалла.

Спектры поглощения синтетических полупроводниковых алмазов, легированных под высоким давлением, изучались на спектрофотометре СФ-4А и спектрометре ИКС-21 с призмой из хлористого кальция. В качестве источника излучения использовались: лампа возбуждения, водородная лампа типа ДВС-25 и силитовый стержень типа «Глобар». Приемниками излучения служили фотоэлектронные умножители ФЭУ-22, ФЭУ-39 и болометр типа БМК-3. Измерения проводились при комнатной температуре в диапазоне длин волн от 2000 Å до 6 мкм. Нами было исследовано 25 образцов, синтезированных под высоким давлением.

Образцы легировались бором, алюминием, фосфором, мышьяком. Введение этих примесей позволило получить набор кристаллов с *n*- и *p*-типом проводимости. Разнообразие легирующих материалов позволило проследить изменение характера спектров поглощения от типа и концентрации примеси.

Полученные спектры в области ультрафиолетового излучения определили границу прозрачности для исследованных кристаллов, которая лежит не только в области коротковолнового поглощения, но и в видимой области. Длины волн границы прозрачности в ультрафиолетовой области имеют значения 205, 210, 215, 220, 225, 230, 235, 300 нм. Применяя существующую классификацию природных алмазов по критерию прозрачности [1], установили наличие алмазов II и I типа соответственно с границей прозрачности до 230 и около 300 нм. Кристаллы, имеющие границу прозрачности в видимой области, выходят за рамки этой классификации. Длины волн границы прозрачности для них имеют значения 430 и 585 нм.

На рис. 1 приведены типичные спектры поглощения исследованных алмазов в ультрафиолетовой области спектра. Полосы поглощения в области 200–300 нм имеют набор линий 230, 235, 245, 270, 275, 290 нм. Наблюдаются также линии 325, 350, 365. Максимумы значений оптической плотности кристаллов приходятся на 250, 255, 235, 245 нм. По классификации, указанной выше, алмазы с границей прозрачности около 300 нм (I типа) обладают электрическим сопротивлением, характерным для диэлектриков. Количество их в серии исследованных кристаллов незначительно. Основная масса образцов относится к типу IIb, который определяет полупроводниковые алмазы. Данные исследований спектров сопоставлялись с данными электрофизических исследований.

Исходя из ранее опубликованной работы [2], можно предположить, что основной полосе 210–290 нм соответствует поглощение парамагнитными азотными центрами. Количество введенной примеси также сказывается на максимальных значениях оптической плотности при одинаковой толщине кристаллов, как это видно из рис. 2.

В видимой области, как указывалось выше, лежит граница прозрачности 580, 430 нм для некоторых кристаллов. Как правило, вид спектров поглощения исследованных кристаллов имеет характер, указанный на рис. 3. Основная полоса поглощения лежит в пределах от 420 до 550 нм. На основной характер поглощения накладывается структура, состоящая из серии полос. Характерным для всех кристаллов в этой области является наличие достаточно узкой полосы 540 нм, а также менее четкой и интен-

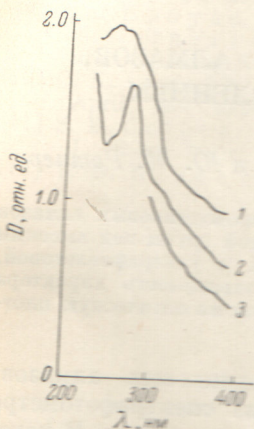


Рис. 1. Типичные спектры поглощения алмазов в ультрафиолетовой области.

Границы прозрачности: 1—230, 2—225, 3—300 нм.

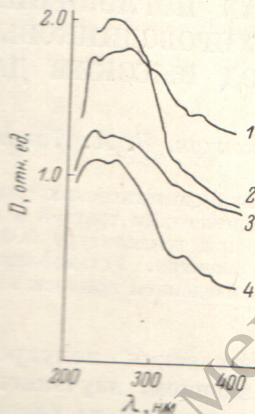


Рис. 2. Спектры поглощения алмазов, легированных бором и фосфором.

1—фосфор 1, 2—бор 0,25, 3—бор 0,65, 4—фосфор 0,25 (концентрация легирующих примесей в данном и последующих рисунках выражена в миллионных долях).

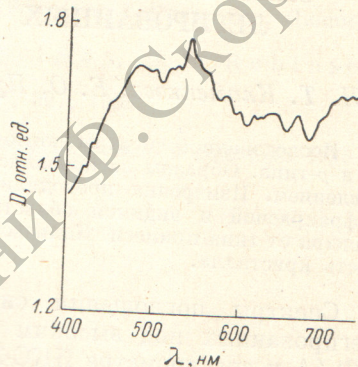


Рис. 3. Типичный спектр поглощения образцов в видимой области.

сивной — около 645 нм. В спектрах ряда образцов присутствует линия 415 нм, характерная для природных алмазов. Линия достаточно интенсивна. Особенно сильно она проявляется в кристаллах, легированных алюминием. Для всех кристаллов наблюдается линия 665 нм средней интенсивности. Ее зависимость от типа и концентрации легирующего материала не установлена. Анализируя характер спектральных кривых, можно заметить, что для кристаллов, легированных алюминием, присущи, хотя и не очень ярко выражены, линии 460 и 490 нм. При легировании образцов бором на спектрах появляется линия 515 нм. Спектры образцов, легированных мышьяком и фосфором, имеют линии 695 и 470 нм соответственно. Линия 470 нм достаточно интенсивная. Эти линии проявляются в кристаллах только с соответствующей легатурой, указанной выше.

В серии исследованных кристаллов некоторые образцы имеют сплошное поглощение в ультрафиолетовой и части видимой областей спектра. Наблюдаются кристаллы, прозрачные в ультрафиолетовой области спектра до определенной длины волны, после которой вплоть до длин волн 420, 440, 550, 580 нм имеет место сплошное поглощение.

В видимой области спектра также наблюдается прямая зависимость максимума оптической плотности от концентрации примеси при одинаковой толщине кристаллов. Это видно на рис. 4. Иногда эта зависимость нарушается, что, вероятно, связано с наличием мелкодисперсного углерода в кристаллах и различным содержанием дефектов.

В инфракрасной области спектры поглощения были получены на спектрометре ИКС-21 с призмой из хлористого натрия до 6 мкм. На рис. 5

приводится спектр инфракрасного поглощения, характерный для кристаллов, легированных мышьяком, бором и алюминием. В этой области в основном наблюдается одна или две широкие полосы с рядом максимумов. Наиболее интенсивные линии поглощения исследованных кристаллов находятся около 3.2, 4.25, 4.6, 5, 5.3, 5.8, 6 мкм. Значения прозрачности изменяются в пределах от 0.03 до 0.01 отн. ед. Данные работы [3] свидетельствуют о тождественности спектров, обусловленных колебаниями решетки природных алмазов. Тем не менее, наши экспериментальные данные показали, что имеется отличие как в спектрах кристаллов, легированных одной и той же компонентой различной концентрации, так и кристаллов, легированных различными примесями.

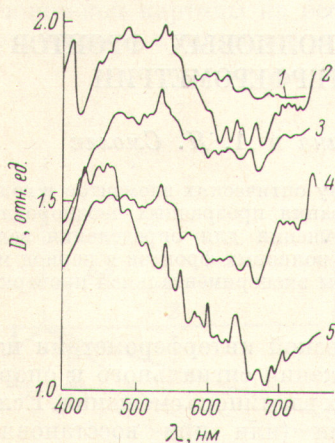


Рис. 4. Спектры поглощения в видимой области кристаллов, легированных бором и алюминием.

1 — бор 0.5, 2 — алюминий 0.4,
3 — бор 0.25, 4 — бор 0.05, 5 —
алюминий 0.04.

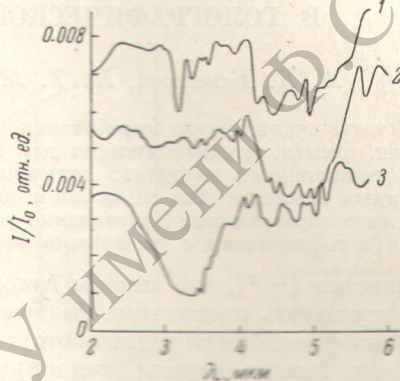


Рис. 5. Спектры инфракрасного поглощения алмазов.

1 — бор 0.01, 2 — мышьяк 1, 3 — алюминий 0.04. $1/I_0$ — пропускание в относительных единицах.

Таким образом, анализ спектров поглощения, полученных при температуре 300° К в области от 2000 Å до 6 мкм на серии полупроводниковых синтетических алмазов, легированных под высоким давлением, показал, что имеет место влияние примеси на характер спектров поглощения, а с количеством введенной примеси изменяется величина оптической плотности кристаллов.

Литература

- [1] Г. О. Гомон. Алмазы, оптические свойства и классификация. Изд. «Машиностроение». Л., 1966.
[2] Е. В. Соболев. ФТТ, 10, 2266, 1968.
[3] Ю. А. Клюев, В. И. Непша, Ю. А. Дудевков, С. Д. Звонков, В. М. Зубков. ДАН СССР, 5, 203, 1972.

Поступило в Редакцию 9 января 1974 г.