

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Ефремова А.Ю., Рудько В.Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Яцук В.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В данной статье описана актуальность определения ширины запрещенной зоны полупроводников с помощью спектрального анализа. Рассмотрен процесс изучения структуры проводников методами спектроскопии с использованием спектрального прибора. В качестве примера использования метода продемонстрированы результаты исследования ширины запрещенной зоны монокристаллов $\text{Cu}_2\text{ZnGeS}_4$. На основе проанализированной информации было установлено, что наиболее используемым и оптимальным методом является абсорбционная спектроскопия.

Ключевые слова: ширина запрещенной зоны, спектральный анализ, монокристалл, спектральный прибор.

Введение. В настоящее время все более актуальным становится вопрос создания эффективных полупроводниковых материалов, которые смогли бы стать основой для новых полупроводниковых приборов с большими функциональными возможностями, однако при исследовании возможностей данных материалов не обойтись без определения ширины энергетических зон. В представленной работе описаны возможности определения ширины запрещенной зоны с помощью спектрального анализа по краю поглощения [1].

Основная часть. При изучении полупроводников важнейшим параметром энергетического спектра является ширина запрещенной зоны – энергетическое расстояние между нижней точкой зоны проводимости и верхней точкой валентной зоны. В области энергий квантов порядка ширины запрещенной зоны часто наблюдаются сильные изменения: в случае, когда значение ширины запрещенной зоны больше значения энергии квантов, полупроводник практически прозрачен, в обратном случае величина, описывающая способность к поглощению света превышает 10^4 см^{-1} . Таким образом, вблизи запрещенной зоны наблюдается край собственного поглощения, и величина, описывающая способность к поглощению света, может измениться на несколько порядков. Экспериментальные исследования оптических спектров в области краевого поглощения обнаруживают много особенностей, а их теоретический анализ даёт информацию об энергетическом спектре электронов вблизи запрещенной зоны [2].

При рассмотрении задачи применения полупроводников в электронике существует значительное отличие прямозонных полупроводниковых структур от непрямозонных. В случае прямых межзонных переходов минимум зоны проводимости и максимум валентной зоны находятся в одной и той же точке пространства квазиимпульсов, где оптические переходы с поглощением кванта света и с излучением кванта света идут так, что электроны практически не изменяют своего квазиимпульса. В случае непрямых межзонных переходов абсолютный минимум зоны проводимости и абсолютный максимум валентной зоны находятся в разных точках пространства квазиимпульсов, и оптические межзонные переходы сопровождаются большим изменением квазиимпульса. Поскольку импульс фотона пренебрежимо мал по сравнению с квазиимпульсом электрона, то второй случай возможен лишь при взаимодействии электрона с третьим телом – фоном или примесью, что обеспечивает выполнение закона сохранения. Вероятность излучательной рекомбинации в прямозонных полупроводниках, как правило, на три-четыре порядка больше, чем в непрямозонных, поэтому основой полупроводниковых источников

излучения, а именно светодиодов и лазеров, в большинстве случаев служат прямозонные полупроводники [2,3].

Для изучения структуры полупроводников активно используются методы спектрального анализа. Спектральный анализ – это совокупность методов определения элементного и молекулярного строения вещества по его спектру. Данный вид исследования позволяет определить как основные компоненты, составляющие вещество анализируемого объекта, так и незначительные примеси в них. Исходя из названия метода, становится понятно, что сведения о строении вещества получают на основе обработки и анализа спектров, получаемых в процессе исследования. Для получения спектров используют различные типы спектральных приборов в зависимости от целей и условий анализа [3-5].

Спектральные приборы – это приборы для исследования состава электромагнитного излучения в оптическом диапазоне длины волн $10 - 3 \cdot 10^3$ мкм. Существует множество приборов данного типа и все они различаются методами, приёмниками излучения, рабочим диапазоном длин волн и другими характеристиками, однако все эти спектральные приборы имеют общую базовую структуру. Таким образом, принципиальная схема спектрального прибора содержит источник излучения, отделение для пробы, диспергирующий элемент (монохроматор) и систему детектирования и регистрации [6].



Рисунок 1 – Принципиальная схема спектрометра

Монохроматор в данном приборе располагают на пути параллельного пучка лучей, создаваемого коллиматором – совокупностью входного отверстия и объектива, учитывая необходимость в возможности перемещения спектра относительно неподвижной входной щели. Диспергирующий элемент служит для пространственного разделения на заданной длине волны падающего на него излучения. Результатом работы спектрометра является проекция на выходной плоскости потока излучения широкого спектра [2,6].

В основе спектрального анализа лежит спектроскопия атомов и молекул и его классифицируют по целям анализа и типам спектров. В атомном спектральном анализе определяют элементарный состав образцов по атомным спектрам испускания и поглощения, в молекулярном спектральном анализе – состав вещества по молекулярным спектрам испускания, поглощения, отражения, люминесценции и комбинационного рассеяния. Эмиссионный спектральный анализ проводят по спектрам испускания возбуждённых атомов и молекул. Абсорбционный спектральный анализ осуществляется по спектрам поглощения анализируемых объектов. В спектральном анализе часто сочетают несколько методов, а также применяют другие аналитические методы, что расширяет возможности анализа. Однако наиболее актуальным из-за своей простоты и экономичности для изучения структуры полупроводников является абсорбционная спектроскопия [3-6].

Абсорбционная спектроскопия изучает спектры поглощения электромагнитных излучений атомами вещества в различных агрегатных состояниях. Методы абсорбционной спектроскопии базируются на способности к переходам валентных электронов из одного состояния в другое, что и позволяет данному методу исследования оставаться одним из эффективнейших при изучении ширины запрещенной зоны [4].

Для наглядности рассмотрим пример исследования ширины запрещенной зоны. Как было сказано ранее, для определения данного параметром энергетического спектра наиболее целесообразным является использования метода абсорбционной спектроскопии. После реализации метода был получен график спектральной кривой, зависимой от энергии

фотона. Определение ширины запрещенной зоны было достигнуто путем экстраполяции прямолинейного участка зависимости до пересечения с осью абсцисс (рисунок 2) [1].

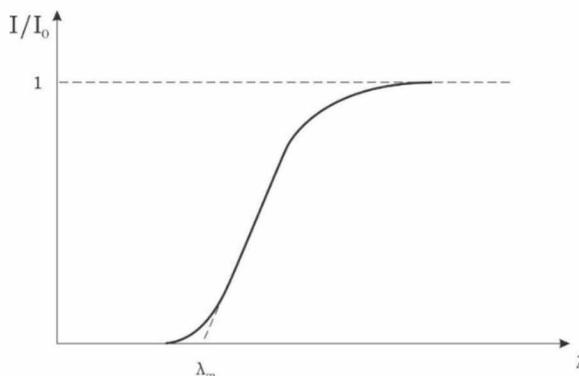


Рисунок 2 – График зависимости для определения ширины запрещенной зоны

В результате проведения количественного и качественного анализов было получено значения ширины запрещенной зоны [1].

Заключение. Был рассмотрен способ определения параметра энергетического спектра полупроводниковых материалов с помощью метода спектроскопии по краю поглощения. Приведен графический пример определения ширины запрещенной зоны. На основе рассмотренных данных можно сделать о целесообразности использования абсорбционной спектроскопии при изучении ширины запрещенной зоны. [1,2].

Список литературы

1. Выращивание, структура и температурная зависимость ширины запрещенной зоны монокристаллов $\text{Cu}_2\text{ZnGeS}_4$ [Электронный ресурс] : статья. – Режим доступа: [ВЫРАЩИВАНИЕ_МОНОКРИСТАЛЛОВ_Cu2ZnGeS4.pdf](#).
2. Энович, А. Э. Оптические явления в полупроводниках: спецпрактикум / А. Э. Энович, Ф. А. Лукьянов, М. В. Чукичев. – М. : Москва, 2007. – 8 с.
3. Абсорбционная спектроскопия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cnshb.ru/AKDiL/0048/base/RA/000003.shtm>.
4. Атомно-абсорбционная спектроскопия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lumex.ru/methods/atomnaya_absorbciya.php. – Дата доступа: 23.02.2024.
5. Спектрометрия атомно-абсорбционная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://labtorg.kz/aas.html>. – Дата доступа: 23.02.2024.
6. Основы аналитической химии : учебник. В 2 т. / под ред. Ю.А.Золотова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – Т. 2. – 416 с.

UDC 535.343.2

DETERMINATION OF THE BAND GAP WIDTH BY THE ABSORPTION SPECTRUM

Yafremava A. Y., Rudzko V. N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – teaching assistant of the department of ICSD

Annotation. This article describes the relevance of determining the band gap width by spectral analysis. The process of studying the structure of conductors by methods of spectral analysis using a spectral device is considered. As an example of using the method, the results of the study of the band gap width of $\text{Cu}_2\text{ZnGeS}_4$ monocrystals were demonstrated. The most used and optimal method is absorption spectroscopy, as determined by the analysis of the information.

Keywords: band gap width, spectral analysis, monocrystal, spectral device.