

*Сальникова Алена Игоревна*  
*студентка бакалавриата кафедры Физики*  
*Пензенский Государственный Университет*  
*г. Пенза, Российская Федерация*

## **МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ КВАНТОВЫХ ПРОВОЛОК И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

*Аннотация:* наш век принято считать веком информационных технологий. За небольшой промежуток времени человек оснастил себя передовыми многофункциональными устройствами (мобильные телефоны, компьютеры, навигаторы и так далее). Сфера электроники развивается с молниеносной скоростью. Совершенствуется и квантовая физика, про которую многие люди слышат впервые, но она также важна. В этой статье рассматриваются методы получения квантовых проволок и их применение.

*Ключевые слова:* квантовая проволока, заряд, атомы, квантовая физика, полупроводники.

## **METHODS FOR OBTAINING QUANTUM WIRES AND THEIR APPLICATION**

*Salnikova Alena Igorevna*  
*undergraduate student of the Department of Physics*  
*Penza State University*  
*Penza, Russian Federation*

*Abstract:* our age is considered to be the age of information technology. In a short period of time, a person has equipped himself with advanced multi-functional devices (mobile phones, computers, navigators, and so on). The field of electronics is developing at lightning speed. Quantum physics is also being improved, which many people are hearing about for the first time, but it is also important. This article discusses methods for obtaining quantum wires and their applications.

**Keywords:** *quantum wire, charge, atoms, quantum physics, semiconductors.*

Квантовые проволоки — структуры шириной в один атом. Такая нить представляет собой систему, в которой ограничено перемещаются в две стороны частицы. В этой проволоке происходит квантование энергии поперечного перемещения носителей заряда.

Учеными Н.Д. Лангом и П. Авурисом из центра IBM проводились исследования по изучению электромагнитных свойств квантовых проволок. Они выполнили теоретический расчет проводимости такой проволоки, которая включает в себя атомы углерода. Из вычислений следует, что данная проводимость в результате роста ее длины преобразуется не монотонно, а колеблется. Подвижность достигает абсолютного максимума в том случае, когда квантовая проволока включает в себя четное количество атомов, так как в этой ситуации она содержит большее количество приемлемых электронных состояний. Х. Ониши с коллегами из Токио создали квантовую проволоку из атомов золота между поверхностью золотого образца и иглой считывающего туннельного микроскопа. В результате увеличения расстояния между ними проволока вытягивается, превращаясь в тонкую длинную нить. Проводимость подобной нити в результате ее растяжения преобразовалась скачкообразно на квантовую единицу проводимости  $2e^2/h$ . Подобную ситуацию выявили и в Лейденском университете. Созданная там квантовая проволока выглядела в виде моста между двумя концами надломленной золотой проволоки [4, с. 191].

Основным методом получения одномерных баллистических каналов внутри гетероструктур GaAs–AGaAs и кремниевых сверхрешёток стало выявление квантования проводимости в зависимости от напряжения на затворе, которое представлено комплексом плато одномерной проводимости, разделенных ступенями величиной  $g_\tau g_\nu \frac{e^2}{h}$ ; где  $g_\tau$  и  $g_\nu$  — спиновый и долинный факторы (рисунок 1, а). Увеличение напряжения на затворе влечет за собой рост толщины квантовой нити, одновременно заполняя огромное количество подзон размерного квантования. В этом случае

зависимость  $G$  имеет ступенчатый характер, поскольку кондуктанс такой квантовой проволоки преобразуется скачкообразно каждый раз, когда уровень Ферми становится равным одной из подзон квантования:

$$G = g_{\tau} g_{\nu} \frac{e^2}{h} N, \text{ где } N \text{ — количество заполненных подзон размерного}$$

квантования, которое равно номеру верхней заполненной одномерной подзоны данной проволоки.

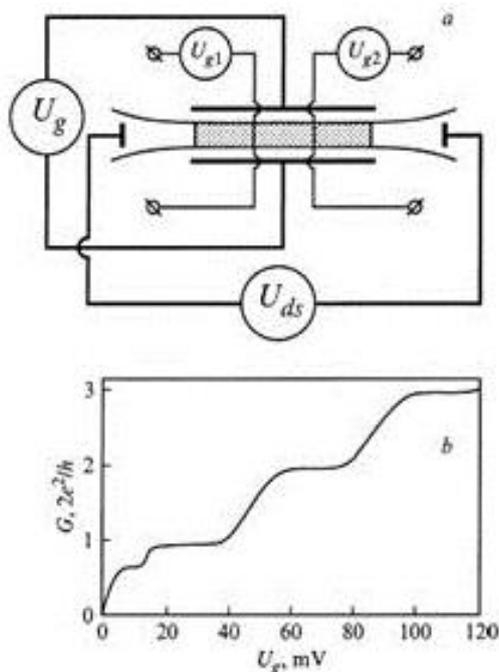


Рисунок 1 — Схема расщепленного затвора (при напряжении  $U_g$ ), применяемая для выведения внутри квантовых ям модулированных квантовых нитей

Наблюдаемая величина ступенек квантованной проводимости, обычно меньше, чем  $g_{\tau} g_{\nu} \frac{e^2}{h}$  (рисунок 1,б), что может быть итогом воздействия в нулевом магнитном поле спиновой поляризации носителей либо нарушения когерентности в результате рассеяния на примесных центрах или электрон-электронного взаимодействия. Остаточные примеси, располагаются вдоль рамок квантовой проволоки и служат основой при формировании внутренних барьеров, которые модулируют критерии одномерного транспорта. Мощность таких барьеров корректируется с помощью изменения напряжения на затворе, которое управляет шириной квантовой проволоки, и особенно благодаря

дополнительным «пальчиковым» затворам (рисунок 1, а), применяемым для наложения квантовых точек между двумя соседними барьерами.

На данный момент существует много технологий образования квантовых проволок, которые можно квалифицировать на два типа: 1) создание таких проволок с помощью травления начальных двумерных структур; 2) образование квантовых проволок при выращивании полупроводниковой структуры. У первого типа есть 2 плюса:

— можно варьировать параметры формы квантовых проволок, полученных путем травления структур с квантовыми ямами, в достаточно высоких пределах;

— мы имеем возможность сравнить свойства начальных квантовых ям и квантовых проволок, полученных из них.

Методом молекулярно–пучковой эпитаксии были выращены бинарные квантовые проволоки ZnTe [1, с. 18]. Способность к образованию тройных соединений представляет собой одну из свойств полупроводников бинарного вида. Это предоставляет возможность в необходимых пределах преобразовывать ширину запрещенной зоны.

На базе пористых полупроводниковых материалов образуются квантовые проволоки или объекты пониженной размерности в результате электрохимического травления кристалла [2, с. 1547].

Квантовые провода можно изготовить из углеродных нанотрубок с определенной протяженностью. Плюсы таких проводов — большая электропроводность (по причине высокой подвижности электронов), малая масса, небольшой диаметр, невысокая химическая активность и огромная прочность на растяжение. Существенным минусом является их высокая цена.

К тому же можно сделать макроскопические квантовые провода. В нитях, сделанных из углеродных нанотрубок, нет нужды каждому волокну проходить по всей протяженности нити, так как квантовое туннелирование электронов сформирует от жилы к жиле туннельные переходы. Данная особенность

превращает квантовые нити в перспективный проект для коммерческого применения.

NASA с апреля 2005 года на протяжении 4 лет вложила 11 миллионов долларов в университет Уильяма Райса на создание квантовой нити с проводимостью в 10 раз больше, чем у меди, а по массе в 6 раз легче. Данные характеристики могут быть достигнуты благодаря применению углеродных нанотрубок. При возникновении подобных материалов они позволят уменьшить массу следующего поколения Спейс шаттла. К тому же их можно будет использовать и в других сферах [5].

В наше время сфера квантовых проволок еще не изучена основательно, что предоставляет пространство для исследований в данной области. Не конца исследована сфера применения на практике данных структур, однако уже проявляются некоторые направления в данной сфере — оптоэлектронные пары, квантовые лазеры, диоды, транзисторы. Лазеры, функционирующие на квантовых и междузональных переходах, обладают пороговыми токами, которые можно сопоставить с токами в простых лазерах на квантовых ямах, работающих на переходах зона–зона [3, с. 328].

Примерно 30 лет назад началось исследование в полупроводниковых структурах квантовых эффектов. В сфере физики низкоразмерного электронного газа исследователи сделали множество открытий, создали новые электронные и оптоэлектронные устройства. В настоящее время в физических лабораториях продолжается деятельность по изучению и формированию новых квантовых структур, которые превратятся в компоненты огромных интегральных схем и смогут с большой скоростью исследовать и резервировать большие объемы данных. Не исключена вероятность наступления в ближайшем будущем эпохи квантовой полупроводниковой электроники.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Janik E, / E. Janik, P. Dluzewski, S. Kret, A. Presz, H. Kirmse, W. Neumann, W. Zaleszczyk, L.T. Baszrwski, A. Petroutchik, E. Dynowska, J. Sadowski, W. Caliebe, G. Karczewski, T. Wojtowicz. // Nanotechnology 18, 475606 (2007).
2. Грозав А. Д. Температурное поведение размерных особенностей продольного магнетосопротивления микропроводов висмута / А. Д. Грозав, Н. И. Лепорда // ФТТ.– 1996. – Т. 38.– Вып. 6. – С.1924.
3. Елесин В. Ф. Кинетическая теория полупроводникового каскадного лазера на квантовых ямах и проволоках. / В. Ф. Елесин, А. В. Крашенинников. // ЖЭТФ – 1997. – Т. 111. – Вып. 2. – С. 681.
4. Кревчик В. Д. Подвижность электронов в полупроводниковых квантовых проволоках и микросужениях с краевой дислокацией / В. Д. Кревчик, А. А. Киндаев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. — 2005. — № 6. - С. 1272.
5. Квантовый провод. [Электронный ресурс] —URL: [https://wiki2.org/ru/Квантовый\\_провод](https://wiki2.org/ru/Квантовый_провод). (Дата обращения: 18.08.2021).