

ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЛЯ РАБОТЫ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ

Бахмат А.Д., Столбун Е.А. студенты гр.272301

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

Смирнова Г.Ф. – доцент кафедры физики, канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. Данная статья посвящена практическому применению туннельного эффекта в работе твердотельных накопителей. В ней излагается суть такого квантового явления, как туннельный эффект, дается описание его работы и применения в различных сферах жизни, а также рассматривается его значимость для работы твердотельных накопителей.

Ключевые слова. Туннельный эффект, твердотельный накопитель, «память с ловушкой заряда», квантовые явления.

Актуальность темы данной работы объясняется тем, что в настоящее время твердотельные накопители стали неотъемлемой частью нашей жизни. Они используются в ноутбуках, настольных ПК и серверах. Благодаря своей скорости и надежности твердотельные накопители являются отличным вариантом для новых сборок ПК, серверов и сборщиков систем. SSD-накопитель — это носитель данных, в котором используется флеш-память для хранения данных и доступа к ним. Данные устройства имеют ряд преимуществ, ведь они долговечны, надежны и энергоэффективны, работают быстрее жестких дисков, а также имеют небольшой вес и компактный размер.

Исходя из вышеперечисленного, становятся очевидны достоинства твердотельных накопителей. Однако стоит отметить, что их работа была бы невозможна без квантовых явлений, в частности, туннельного эффекта.

Туннельным эффектом называют преодоление частицей потенциального барьера в случае, когда её энергия (остающаяся при этом неизменной) меньше высоты барьера. Квантовое туннелирование или туннелирование относится к квантово-механическому явлению, когда частица туннелирует через барьер, который она не могла преодолеть в классическом понимании [1].

В 20–30-х годах нашего века во время появления квантовой механики, появилось предположение о существовании туннельного эффекта. В дальнейшем за счет туннельного эффекта были объяснены некоторые важные явления, обнаруженные экспериментально в различных областях физики.

Туннельный эффект – квантово-механический эффект, не имеющий альтернативы в классической механике. Это основная особенность туннельного эффекта. Если опираться на классическую механику, понятно, что любое материальное тело, которое обладает энергией E , не может преодолеть потенциальный барьер высотой V_0 , если $V_0 > E$.

В соответствии с законом сохранения энергии при падении на барьер тело отражается от него. Для электрона всё происходит иначе. Ему присущи как корпускулярные, так и волновые свойства

Туннелирование часто объясняется с использованием принципа неопределенности Гейзенберга и корпускулярно-волнового дуализма материи. При ширине потенциального барьера $R \leq \lambda_D$, где λ_D длина волны де Бройля для материального тела, электрон при падении на барьер с некоторой вероятностью окажется с другой его стороны, он пройдет через барьер без изменений энергии. В этом качественно заключается смысл туннельного эффекта. Это объясняет работу туннельного эффекта.

В 20-х годах XX века независимо Г.А. Гамовым, а также Е. Кондоном и Р. Герни была выдвинута туннельная теория α -распада. Это позволило достаточно точно описать периоды распада различных ядер в диапазоне их величин. Без туннельного эффекта термоядерные реакции были бы невозможны. Чтобы произошло слияние, ядра, участвующие в реакции, должны приблизиться друг к другу. Однако им препятствует кулоновский потенциальный барьер, который частично преодолевается за счет высоких скоростей (высокая температура ядер) и отчасти в результате туннельного эффекта. В начале XI века успех теории туннелирования α -частиц из ядер доказал справедливость основ новой квантовой физики.

Туннельный эффект представлен и в оптике. Если угол падения волны больше предельного угла, происходит полное отражение, так же как и при отражении частицы от потенциального барьера при $E < V$ в рамках классической механики. В результате экспериментов, физики выяснили, что свет проникает за границу раздела на глубину порядка длины волны, экспоненциально ослабляясь во второй среде. Наиболее наглядным является опыт одного из основателей отечественной радиофизики, Л.И. Мандельштама (1879–1944), в котором он изучал отражение света от

поверхности люминесцирующего раствора. Наглядным примером является эксперимент Л.И. Мандельштама, где он исследовал отражение света от поверхности люминесцирующего раствора. Проникновение света в раствор наблюдали по возникновению свечения в тонком приповерхностном слое раствора.

Многие примеры туннельного эффекта можно найти в физике твердого тела. Таким образом, полевая эмиссия, т. е. эмиссия электронов из металла или полупроводника под действием сильного электрического поля, происходит путем туннелирования. Туннельный эффект объясняет различные явления в полупроводниках, помещенных в сильное электрическое поле. В эффекте Джозефсона пары электронов туннелируют через тонкий изолирующий барьер между двумя сверхпроводящими материалами [2].

Сказанное позволяет заключить, что туннельный эффект играет существенную роль в самых различных областях физики и техники. Более того, данное квантовое явление обеспечивает работу твердотельных накопителей.

Для того, чтобы иметь представление о взаимосвязи туннельного эффекта и работы твердотельных накопителей, необходимо понимать, как кодируется и хранится информация. В современных компьютерах информация хранится в виде данных, зашифрованных в виде нулей и единиц. Что же касается твердотельных накопителей, принцип их работы несколько иной. Твердотельный накопитель состоит из кремниевых чипов, внутри которых находится множество ячеек памяти. Каждая ячейка, по сути, представляет собой «память с ловушкой заряда» [3]. «Память с ловушкой заряда» — это технология полупроводниковой памяти, которая используется при создании энергонезависимой NOR и NAND флэш-памяти. Когда на твердотельный накопитель записывается информация, «память с ловушкой заряда» заполняется электронами. Во многих современных твердотельных накопителях каждая «ловушка заряда» использует свой собственный уровень заряда электрона для представления 3-х битов информации.

Поскольку запись информации на твердотельный накопитель подразумевает заполнение «памяти с ловушкой заряда» электронами, обратимся к тому, как это происходит. «Память с ловушкой заряда» состоит из регулирующего затвора, канала, слоя диэлектрика и непосредственно «ловушки заряда», представленных на рисунке 1.

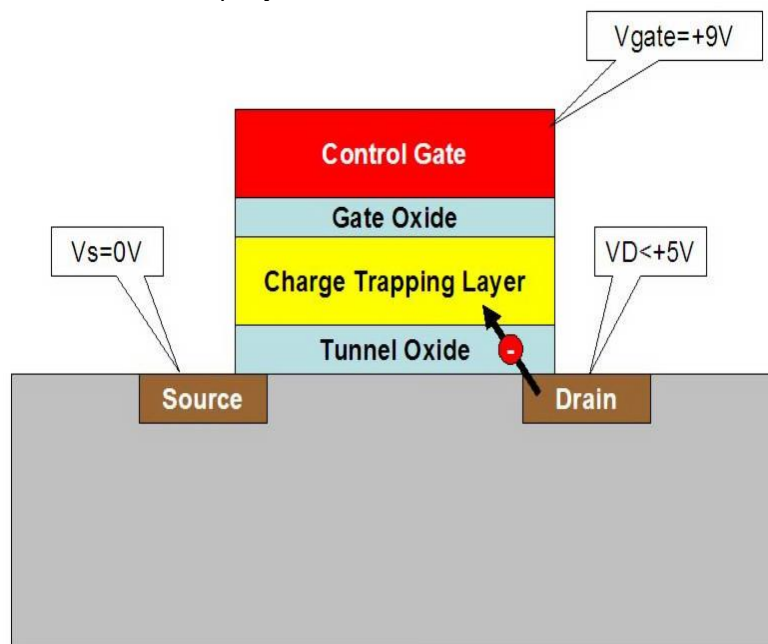


Рисунок 1 – устройство «памяти с ловушкой заряда»

Источником электронов является канал. Диэлектрик, в свою очередь, разделяет канал и «ловушку заряда», так как его электропроводность мала, а значит электронам из канала трудно попасть в «ловушку заряда».

Именно здесь и происходит туннельный эффект. Когда на затвор над слоем оксида действует напряжение, электрическое поле перемещает электроны из канала к затвору. При применении подходящего напряжения, электроны, находящиеся в канале, могут при помощи туннельного эффекта переместиться через затвор в «ловушку заряда». Как только электроны попадают в «ловушку заряда», они остаются там.

Каждый раз, когда на твердотельный накопитель записывается информация, происходят вышеупомянутые процессы. Квантовое туннелирование заполняет «ловушки заряда», расположенные в ячейках памяти устройства.

Однако стоит подчеркнуть, что результат работы квантового туннелирования сильно зависит от ширины затвора. Если диэлектрические стенки слишком плотные, напряжение, которое нужно применить для возникновения туннельного эффекта, будет слишком высоким. Чем выше применимое к ячейке памяти напряжение, тем больше ущерба ей наносится. В случае, если диэлектрические стенки слишком тонкие, электроны могут туннелироваться из «ловушки заряда». В итоге записанные на твердотельном накопителе данные будут повреждены.

Таким образом, туннельный эффект играет существенную роль в самых различных областях физики и техники. Одной из главных особенностей туннельного эффекта является его безальтернативность в классической механике, так как он является принципиально квантово-механическим эффектом. На своём примере туннельный эффект доказывает основополагающее положение квантовой механики – корпускулярно-волновой дуализм свойств элементарных частиц. Также из всего вышперечисленного можно заключить, что без туннельного эффекта была бы невозможна работа популярных на сегодняшний день твердотельных накопителей.

Список использованных источников:

1. Эффект туннелирования и квантовая механика / А. Ахмаров // Сборник статей Международной научно-практической конференции МЦИИ ОМЕГА САЙНС 22 августа 2017 г., 2017. – С. 14-16.
2. Quantum Tunnelling in Small-Capacitance Josephson Junctions in a General Electromagnetic Environment / G. Falci [et al.] Delft University of Technology, 1991. – P. 2-4.
3. Solid state drives data reliability and lifetime / A. R.Olson [et al.] // Imation White Paper, 2008. – P. 15-16.

UDC 530.145

TUNNEL EFFECT FOR SOLID STATE DRIVES

Stolbun E.A., Bahmut A.D.

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

Smirnova G. F. – assistant professor, PhD in Physics and Mathematics, associate professor of the department of physics

Annotation. This article is devoted to the practical application of the tunnel effect in the operation of solid state drives. It outlines the essence of such a quantum phenomenon as the tunnel effect, describes its work and application in various areas of life, and also considers its significance for the operation of solid-state drives.

Keywords. Tunnel effect, solid state drive, "charge trap memory", quantum phenomena.