

ПЕРСПЕКТИВЫ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кот Я.А.

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

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

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные признаки кризиса кремниевых технологий, обусловленного физическими и технологическими ограничениями дальнейшего уменьшения размеров транзисторов. Анализируются перспективы квантовых технологий на примере топологического квантового компьютера *Majorana 1* от *Microsoft*, а также выявляются его ключевые недостатки, ограничивающие промышленное применение.

Ключевые слова: микроэлектроника, квантовые технологии, кубит, майорановский фермион.

Введение. Современная микроэлектроника столкнулась с рядом фундаментальных проблем, связанных с предельными возможностями кремниевых технологий. В условиях растущих вычислительных мощностей и уменьшения размеров транзисторов традиционные кремниевые чипы приближаются к своим физическим ограничениям.

Развитие кремниевой микроэлектроники долгое время шло в рамках закона Мура, согласно которому число транзисторов на кристалле удваивается каждые 24 месяца. Однако по мере приближения к нанометровым размерам транзисторов начинают проявляться фундаментальные ограничения [1]:

1 Квантовые эффекты, которые появляются при толщине затвора менее 5 нм, тогда возрастает вероятность туннелирования электронов, что приводит к утечке тока и снижению энергоэффективности;

2 Тепловые проблемы – увеличение плотности транзисторов на единицу площади приводит к росту тепловыделения, что требует применения сложных систем охлаждения;

3 Ограничения фотолитографии – современные технологии производства на основе экстремального ультрафиолетового (EUV) излучения достигли предела своей точности, усложняя дальнейшее уменьшение размеров структур.

4 Переход к более совершенным технологическим нормам требует значительных капиталовложений, что делает массовое производство менее рентабельным.

Все эти факторы усложняют дальнейшее масштабирование и требуют поиска альтернативных решений.

В данной статье рассматриваются перспективы развития микроэлектроники по пути квантовых технологий и новых материалов с особыми свойствами.

Основная часть. Квантовые вычисления рассматриваются как одно из перспективных решений для повышения производительности вычислительных устройств.

Компания *Microsoft* активно развивает это направление, делая акцент на топологических кубитах. В отличие от традиционных битов, принимающих значения 0 или 1, кубит способен находиться в состоянии суперпозиции, одновременно представляя и 0, и 1. Основные преимущества топологических кубитов заключаются в их потенциальной стабильности и упрощённой коррекции ошибок. Квантовая информация в таких кубитах кодируется топологическими свойствами физической системы, что теоретически обеспечивает их высокую устойчивость к шуму. [2].

Microsoft разрабатывает топологические кубиты, в которых квантовая информация кодируется на концах сверхпроводящего нанопровода. На самом базовом уровне устройства состоят из алюминиевых нанопроводов шириной всего 60 нм, расположенных на

полупроводнике. При охлаждении алюминий становится сверхпроводящим, создавая идеальные условия для появления майорановских нулевых мод (*MZMs*). Эти частицы, уникальные своей природой, являются собственными античастицами и способны проводить ток. Когда устройство настроено на определённые значения магнитного поля и напряжения, майораны теоретически возникают на концах нанопроводов. Управление топологическими кубитами Microsoft осуществляется цифровым способом – путём простого включения и выключения напряжения, что дополнительно повышает удобство работы с ними.

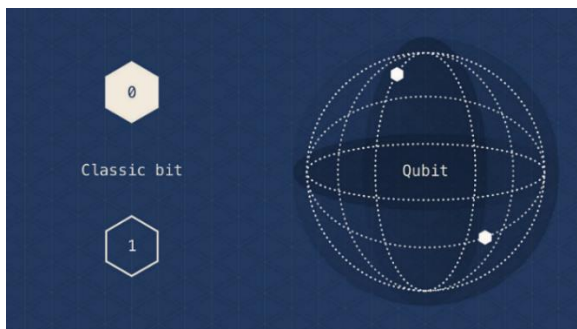


Рисунок 1 – Условное изображение бита и кубита от Microsoft

Архитектура, разрабатываемая Microsoft, в частности, чип *Majorana 1*, спроектирована для масштабирования до миллионов кубитов на одном чипе, что необходимо для решения сложных промышленных и научных задач [3].



Рисунок 2 – Чип *Majorana 1* от Microsoft

Тем не менее, многие эксперты выражают сомнения в том, что наблюдаемые Microsoft сигналы действительно являются *MZMs*, а не какими-либо другими, более тривиальными эффектами, связанными с несовершенством материалов или измерений. Протокол топологической щели (*TGP*), который использует Microsoft для подтверждения наличия *MZMs*, также подвергается критике за возможность ложноположительных результатов, зависящих от параметров измерения.

Несмотря на потенциальные преимущества топологических кубитов в плане стабильности и масштабируемости, подход Microsoft сталкивается со значительными научными и техническими трудностями. Отсутствие независимого подтверждения результатов и критика со стороны экспертов указывают на то, что эта технология пока находится на ранней стадии разработки и требует дальнейших исследований для подтверждения своей жизнеспособности.

Подход Microsoft к квантовым вычислениям с использованием топологических кубитов является лишь одним из нескольких направлений в этой области. Другие ведущие архитектуры включают сверхпроводниковые кубиты, кубиты на захваченных ионах, фотонные кубиты, кубиты на нейтральных атомах и спиновые кубиты (на квантовых точках). Каждая из этих технологий имеет свои преимущества и недостатки. Однако всех их объединяет общий ряд проблем:

– отсутствие стабильных кубитов, большинство квантовых процессоров требует сверхнизких температур (около 10 мК), что делает их промышленное применение сложным и дорогостоящим;

– ошибки квантовой декогеренции: время когерентности кубитов остается недостаточным для выполнения длительных вычислений;

– сложность масштабирования: существующие квантовые процессоры включают лишь десятки или сотни кубитов, тогда как для практического применения требуется миллионы;

– отсутствие универсальных алгоритмов: разработка программного обеспечения для квантовых компьютеров находится на ранней стадии, а практическое применение остается ограниченным специализированными задачами, такими как моделирование квантовых систем или криптография.

Несмотря на существующие ограничения, развитие квантовых технологий продолжается, поскольку их потенциал для решения сложных вычислительных задач остается высоким.

Заключение. Современная микроэлектроника подошла к критической точке, где традиционные кремниевые технологии сталкиваются с фундаментальными физическими и технологическими ограничениями. Это требует поиска альтернативных решений, среди которых ключевую роль могут сыграть квантовые технологии. Разработка топологических кубитов, активно продвигаемая Microsoft, демонстрирует перспективы преодоления существующих барьеров благодаря их потенциальной стабильности и масштабируемости. Однако многочисленные научные и технические трудности, включая подтверждение теоретических моделей и преодоление ошибок декогеренции, свидетельствуют о ранней стадии развития данной технологии.

Тем не менее, продолжающиеся исследования в области квантовых вычислений, наряду с развитием других архитектур, таких как сверхпроводниковые и ионные кубиты, указывают на огромный потенциал этой отрасли. Несмотря на текущие ограничения, такие технологии способны трансформировать вычислительную технику, открывая возможности для решения задач, недоступных традиционным компьютерам.

Список литературы

1. *Exploring Types of Quantum Computers: Which Technology Leads ...* [Electronic resource]. – Date of access: March 26, 2025. – <https://www.quandela.com/resources/blog/exploring-types-of-quantum-computers-which-technology-leads/>.
2. *Moore's Law* [Electronic resource] // Investopedia. – Date of access: March 26, 2025. – Available at: <https://www.investopedia.com/terms/m/mooreslaw.asp>.
3. *Microsoft's Majorana 1 chip carves new path for quantum computing ...* [Electronic resource]. – Date of access: March 26, 2025. – Available at: <https://news.microsoft.com/source/features/innovation/microsofts-majorana-1-chip-carves-new-path-for-quantum-computing>.

UDC 621.391.8, 621.396.96

PROSPECTS OF QUANTUM TECHNOLOGIES

Kot Y.A.

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

Yaschuk V.A. – master of tech. sci., assistant of the department of ICSD

Annotation. This article examines the main signs of the crisis in silicon technologies, caused by physical and technological limitations on the further reduction of transistor sizes. The prospects of quantum technologies are analyzed using the example of Microsoft's Majorana 1 topological quantum computer, and its key shortcomings limiting industrial application are identified.

Keywords: microelectronics, quantum technologies, qubit, Majorana fermio.