

УДК 004.312.222

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАНТОВОГО ФОТОННОГО ГЕЙТА В ИНТЕГРАЛЬНО ОПТИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 810 НМ

Хлусевич Д.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н. (радиофизика), д.ф.-м.н. (оптика), ведущий научный сотрудник Петров В.М.
(Университет ИТМО)

Введение. Квантовый CNOT гейт является двухкубитовым логическим элементом, входящим в набор универсальных квантовых гейтов для построения квантовых алгоритмов обработки информации. Наличие CNOT гейта необходимо в таких алгоритмах, а поэтому его изготовление является важной задачей. Существуют различные реализации CNOT гейта: линейная оптика [1-3], сверхпроводящие структуры [4], квантовые точки [5], интегральная оптика [6] – все эти разработки принадлежат зарубежным научным группам. В рамках НИОКТР № 422069 разрабатывается CNOT гейт в университете ИТМО. В качестве технологии реализации используется интегральная оптика, а сама архитектура гейта основывается на линейных оптических квантовых вычислениях (LOQC) с использованием интерферометров Маха-Цендера в качестве светоделителей. При работе гейта в режиме счёта фотонов существенное влияние начинает оказывать поглощение, так как оно приводит к уничтожению одиночных фотонов и, соответственно, нарушению работы гейта. Поэтому важной задачей является оценка оптических характеристик CNOT гейта и возможности их улучшения.

Основная часть. Для правильной работы CNOT гейта необходимо использовать связанные фотоны. Такие фотоны генерируются при помощи спонтанного параметрического рассеяния, используя кристалл бета-бората бария, который показывает на длине волны 810 нм наиболее высокую эффективность генерации по сравнению с другими нелинейными кристаллами.

Использование интегральной оптики обеспечивает миниатюрность гейта, а также позволяет использовать минимальный набор устройств, контролирующих работоспособность гейта. Помимо этого, достигается высокая стабильность оптических параметров от внешних воздействий. CNOT гейт изготавливается в виде интегрально-оптического чипа фотолитографическим методом диффузией титана, из которого получают волноводы, в подложку из ниобата лития [7]. Данный технологический процесс хорошо отлажен и давно используется в серийном производстве. Поэтому вклад производственной ошибки будет минимальным.

Для изучения оптических характеристик интегрально-оптического чипа будут отдельно изготовлены пару более простых чипов, на которых будут проводиться измерения: чип, состоящий из одного прямого волновода на подложке, и чип, на котором будет изготовлен отдельный интерферометр Маха-Цендера. После этого будет изготовлен чип CNOT гейта. Таким образом, проведя измерения каждого чипа, можно будет оценить влияние каждого отдельного участка волноводов на проходящее излучение.

Выводы. Полученные результаты можно использовать для дальнейшей разработки интегрально-оптических устройств с использованием CNOT гейтов и изготовленных методом диффузии титана в ниобат лития. При этом можно ориентироваться на уже существующие разработки в интегральной оптике [8-9].

Список использованных источников:

1. O'Brien J. L. et al. Demonstration of an all-optical quantum controlled-NOT gate //Nature. – 2003. – Т. 426. – №. 6964. – С. 264-267.

2. Ding Z. Y. et al. Experimental investigation of entropic uncertainty relations and coherence uncertainty relations //Physical Review A. – 2020. – Т. 101. – №. 3. – С. 032101.
3. Gao X. et al. High-speed imaging of spatiotemporal correlations in Hong-Ou-Mandel interference //Optics Express. – 2022. – Т. 30. – №. 11. – С. 19456-19464.
4. Plantenberg J. H. et al. Demonstration of controlled-NOT quantum gates on a pair of superconducting quantum bits //Nature. – 2007. – Т. 447. – №. 7146. – С. 836-839.
5. Ren B. C., Deng F. G. Hyper-parallel photonic quantum computation with coupled quantum dots //Scientific reports. – 2014. – Т. 4. – №. 1. – С. 4623.
6. Smith B. J. et al. Phase-controlled integrated photonic quantum circuits //Optics Express. – 2009. – Т. 17. – №. 16. – С. 13516-13525.
7. Петров В. М., Шамрай А. В. СВЧ Интегрально-оптические модуляторы. Теория и практика. – 2021.
8. Mower, J. C. (2014b, June 6). Methods, systems, and apparatus for programmable quantum photonic processing. <https://patents.google.com/patent/US9354039B2/en?q=US9354039B2>
9. Chi Y. et al. A programmable qudit-based quantum processor //Nature communications. – 2022. – Т. 13. – №. 1. – С. 1166.