

УДК 535.21

ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА КАК ЭЛЕМЕНТА ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Опарин Е.Н. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Цыпкин А.Н. (ИТМО)

Введение. При проведении атак на техническую реализацию систем квантового распределения ключа (КРК) злоумышленник эксплуатирует особенности работы оптических элементов, из которых эта система строится, с целью получения доступа к зашифрованной информации [1]. Помимо атак, направленных на непосредственное извлечение информации, существует так называемая атака с лазерным повреждением. Ее суть заключается в модификации оптических свойств элементов системы КРК под действием высокоинтенсивного лазерного излучения. Как правило, целью атаки с лазерным повреждением становятся элементы защиты от прочих типов атак - оптические изоляторы, установленные на входе в блоки отправителя и получателя системы коммуникаций. Одна из популярных длин волн для коммерческих систем КРК расположена в третьем телекоммуникационном окне и составляет 1550 нм [2]. Исследование воздействия на такие изоляторы высокомоушным непрерывным излучением на длине волны 1550 нм выполнено в работах [3,4]. При этом остаются не ясными закономерности изменения характеристик этих защитных элементов при облучении длинами волн, отстающих от 1550 нм.

Основная часть. В работе был исследован двухступенчатый поляризационно-независимый волоконный оптический изолятор. По спецификации максимальная мощность непрерывного излучения, при которой изолятор функционирует в штатном режиме - 500 мВт. Изоляторы такого типа являются стандартными и используются в одном из вариантов коммерческих систем КРК.

В ходе экспериментального исследования через изолятор пропускалось два пучка: излучения накачки и пробное излучение. Центральная длина волны первого составляла 1050 нм, а второго – 1550 нм. Мощность непрерывного излучения накачки постепенно поднимали до 700 мВт. После прекращения лазерного воздействия коэффициент изоляции образца восстановился к начальному значению. Мощность фемтосекундной накачки планировалось также поднять до 700 мВт, но при мощности 500 мВт изолятор оказался разрушен.

Несмотря на меньшее ослабление в изоляторе излучения накачки на 1050 нм по сравнению с 1550 нм, снижение изоляции происходило более выражено. Кроме того, оказалось, что кривые для непрерывного и фемтосекундного излучения имеют один вид, однако для импульсной накачки кривая смещена на более высокие мощности. Иными словами, воздействию фемтосекундного излучения на изолятор оказывается менее выраженным, нежели непрерывного при равной средней мощности. Ввиду низкой инерционности термических эффектов и высокой частоты следования фемтосекундных импульсов (70 МГц), равенство средних мощностей говорит об одинаковом термическом воздействии излучения при одинаковом поглощении. Здесь же наблюдается явное различие, то есть для фемтосекундного света ослабление изолятора должно быть ниже.

В попытка выяснить причины данного эффекта, было решено измерить непосредственное пропускание изолятором излучения накачки. Оказалось, что пропускание имеет сложный нелинейный характер при изменении мощности проходящего излучения. Во-первых, для обеих непрерывной и фемтосекундной накачки пропускание изменяется со временем. Во-вторых, начальный момент времени пропускания для фемтосекундного излучения выше, чем для непрерывного. Кроме того, для импульсного фемтосекундного и непрерывного излучения выявляются противоположные эффекты. В первом случае с

увеличением мощности входящего излучения происходит уменьшение начального пропускания, а во втором – рост. При этом для обоих типов излучение конечное значение пропускания ниже, чем начальное.

Выводы. Экспериментально исследованы закономерности изменения характеристик волоконного оптического изолятора элементов при лазерном воздействии с центральной длиной волны 1050 нм в непрерывном и импульсном фемтосекундном режиме. Показано, что при равной средней мощности воздействие фемтосекундного излучения оказывается менее выраженным, чем непрерывного.

Список использованных источников:

1. Jain N. et al. Risk analysis of Trojan-horse attacks on practical quantum key distribution systems //IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. – 2014. – Т. 21. – №. 3. – С. 168-177.
2. Bennett C. H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing //Theoretical computer science. – 2014. – Т. 560. – С. 7-11.
3. Ponosova A. et al. Protecting fiber-optic quantum key distribution sources against light-injection attacks //PRX Quantum. – 2022. – Т. 3. – №. 4. – С. 040307.
4. Ружицкая Д. Д. и др. СОЗДАНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ В СИСТЕМАХ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АТАКИ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРОМ //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2021. – Т. 21. – №. 6. – С. 837-847.