

Л. В. Шастин^{1,2}, А. В. Бритвин¹, Б. В. Поллер^{1,2}*

Характеристики волоконных сумматоров УФ излучений для УФ линий связи и ориентации БПЛА

¹ Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация

² Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: leonid_shastin@mail.ru

Аннотация. В последние годы активно развиваются разработки и производство малогабаритных полупроводниковых ультрафиолетовых (УФ) излучателей в диапазоне 0,25 – 0,38 мкм. Такие излучатели перспективны для применения в различных телекоммуникационных и сенсорных системах. Для данного вида излучателей характерно значительное уменьшение выходной мощности до десятков милливольт с уменьшением длины волны. Однако для атмосферных УФ линий связи с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) необходимы излучатели с малым размером излучателя и с большой выходной мощностью. Определенные возможности здесь открывают сумматоры излучений на основе волоконных оптических световодов. Таким образом, целью данной статьи является создание устройства для суммирования излучения, его исследование и заключение об эффективности его использования с УФ-матрицей в качестве передатчика для УФ линий связи и ориентации БПЛА. В докладе приводятся экспериментальные характеристики полимерного и кварцевого волокна в УФ диапазоне и сумматоров излучений от диодов на длине волны 0,36 мкм.

Ключевые слова: ультрафиолетовая линия беспроводной связи, ориентация малых БПЛА, многокристальные УФ излучатели, УФ-светодиоды, УФ-матрица, волоконное суммирование

L. V. Shastin^{1,2}, A. V. Britvin¹, B. V. Poller^{1,2}*

Characteristics of UV Fiber Adders for UV Communication Lines and UAV Orientation

¹ Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: leonid_shastin@mail.ru

Abstract. In recent years, the development and production of small-sized semi-conductive ultraviolet (UV) emitters in the range 0,25 – 0,38 microns have been actively developing. Such emitters are promising for use in various telecommunication and sensor systems. This type of emitters is characterized by a significant decrease in output power to tens of milliwatts with a decrease in wavelength. However, for atmospheric UV communication lines with unmanned aerial vehicles (UAVs), emitters with a small size of the emitter and with a large output power are needed. Certain possibilities here are opened by radiation adders using fiber optic light guides. Thus, the purpose of this article is to create a device for summing radiation, to study it and to conclude on the effectiveness of its use with a UV matrix as a transmitter for UV communication lines and orientation of UAVs. The report provides experimental characteristics of polymer and quartz fiber in the UV range and summers of radiation from diodes at wavelengths waves 0.36 microns.

Keywords: ultraviolet wireless communication line, orientation of small UAVs, multi-crystal UV emitters, UV LEDs, UV matrix, fiber summation

Введение

Использование БПЛА в различных видах деятельности набирает стремительные обороты в последние несколько лет. И неудивительно, ведь замена человека БПЛА или дополнение одного другим имеют очевидные плюсы. Однако, то, что БПЛА управляются, в основном, с помощью радиоволн, делает канал связи весьма уязвимым для электромагнитных помех, средств обнаружения, средств радио-электронной борьбы и прочих внешних вмешательств. Такой недостаток может являться критичным для достижения некоторых целей.

Поэтому в работе [1] была предложена концепция оптического канала связи. А именно, УФ линия связи с малыми БПЛА. В сравнении с радиодиапазоном, использование оптического диапазона для канала связи с БПЛА делает этот канал значительно более защищенным. Использование УФ излучения дает возможность передавать сигнал в солнечно-слепом диапазоне, что, в общем случае, увеличивает соотношение сигнал-шум. А использование матричного передатчика позволяет увеличить выходную мощность [2–5].

Существенным недостатком матричного передатчика можно считать большой угол расходимости, из-за чего падает эффективная длина передачи сигнала.

Для решения этой проблемы можно использовать линзоволоконную оптику. А именно, многоканальное волокно, собирающее излучение от каждого элемента матрицы и выводящее его через один выходной канал. Вопрос фокусировки излучения в волокно можно решить с помощью линз. Таким образом, используя такой линзоволоконный сумматор, можно получить ту же мощность, что и без него, но с меньшим углом расходимости и сконцентрированную на гораздо меньшей площади. Что, в свою очередь, позволяет значительно увеличить расстояние передачи сигнала.

Исследование двухканального сумматора

Чтобы оценить эффективность предложенного метода необходимо было изготовить опытный образец сумматора и исследовать его. Сумматор представляет из себя несколько входных волокон (в первом случае – два) и одно выходное волокно большего диаметра. Выходные волокна стыкуются под углом 45° по отношению ко входному (рис. 1).

размерами:

- диаметр входных волокон, $d_{\text{вх}} = 1$ мм;
- диаметр выходного волокна, $d_{\text{вых}} = 1,5$ мм;
- длина входных волокон, $l_{\text{вх}} = 15$ см;
- длина выходного волокна, $l_{\text{вых}} = 10$ см.

Далее следовало проверить сам факт суммирования излучения и эффективность суммирования в изготовленном сумматоре.

Изготовленный по такой схеме сумматор обладал следующими линейными

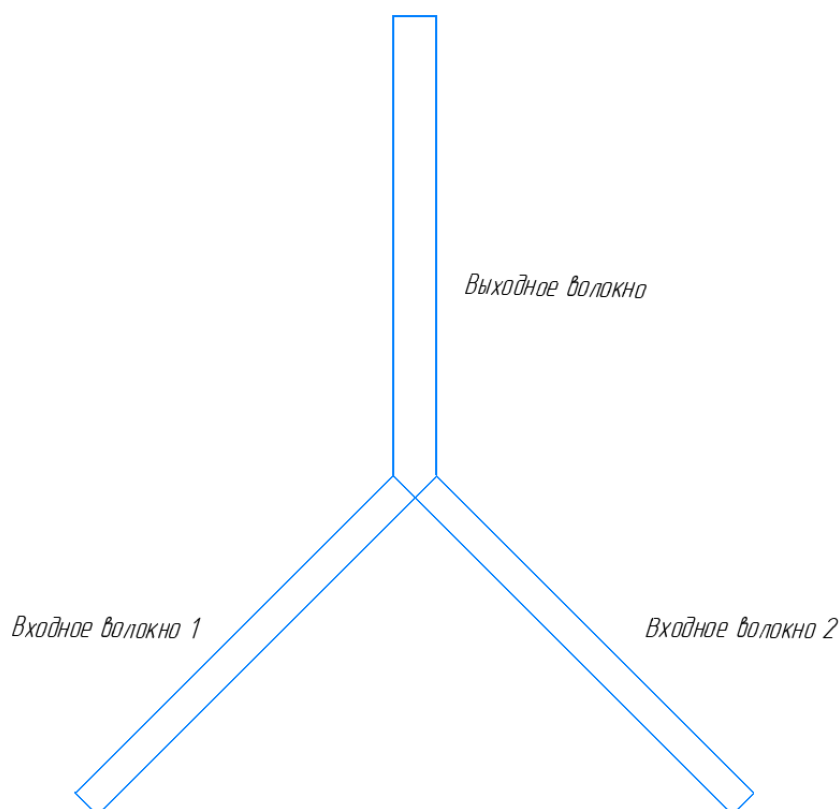


Рис.1 Схематическая структура двухканального сумматора

Были рассмотрены случаи суммирования излучений с одной длиной волны и с разными длинами волн.

Для эксперимента были выбраны три УФ светодиода (табл. 1), среди которых был четырехкристальный светодиод (ЛД3) разработанный совместно с НИИ полупроводниковых приборов (г. Томск), использовавшийся поочередно в паре с другими двумя. После стыковки входных волокон сумматора с излучателями каждый из излучателей был поочередно включен для измерения облученности, передаваемой сумматором с одного канала.

Далее, светодиоды включались парами, и также измерялась облученность на выходе сумматора для оценки эффективности суммирования излучения.

По итогу эксперимента, суммирование излучений с ЛД1 и ЛД3 дало $I=1,6 \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$, а суммирование излучений с ЛД2 и ЛД3 дало $I=3,4 \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$. Таким образом, было показано, что излучение суммируется в двухканальном сумматоре без потерь для излучений как с одной длиной волны, так и с различающимися длинами волн.

Характеристики лазерных светодиодов (с двухканальным сумматором)

Источник излучения	ЛД1	ЛД2	ЛД3
Длина волны λ , нм	385	365	365
Напряжение питания U , В	12	10	3
Облученность на выходе сумматора I , $\frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$	0,8	2,4	0,8(ЛД1); 1(ЛД2)

Исследование четырехканального сумматора

Также, интересно было исследовать сумматор с большим числом входных каналов. Например, четырехканальный сумматор. Как ясно из названия, такой сумматор имеет четыре входных волокна и одно выходное (рис. 2). По сути, четырехканальный сумматор состоит из двух двухканальных сумматоров, состыкованных друг с другом по тому же принципу, что и их входные волокна.

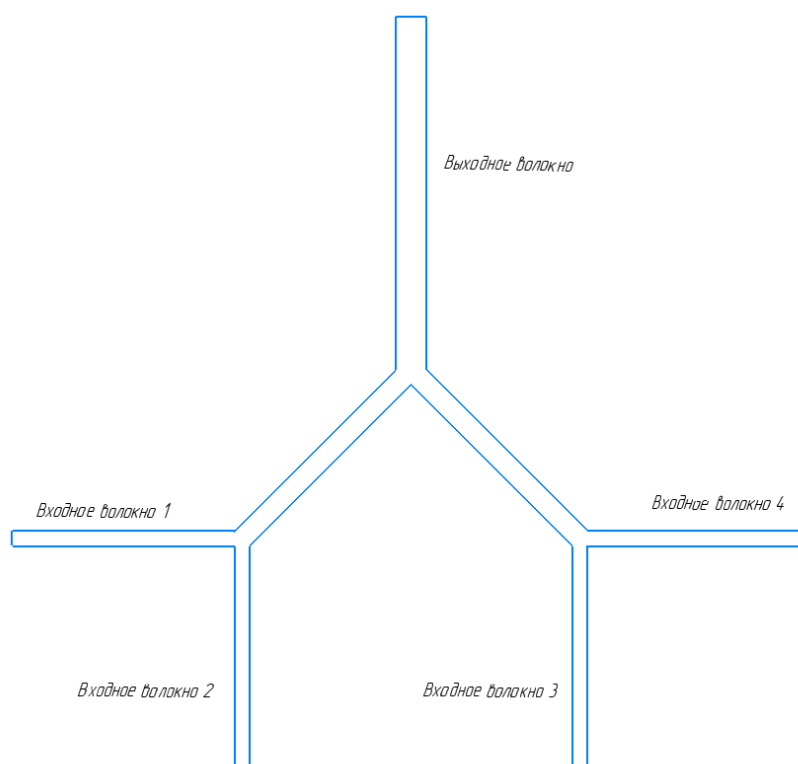


Рис. 2. Схематическая структура четырехканального сумматора

Далее, как и в предыдущем эксперименте, были выбраны светодиоды с одинаковой длиной волны, к которым стыковались входные волокна сумматора (табл. 2). Эти светодиоды включались сначала поочередно, затем по два, и, наконец, все вместе.

Характеристики лазерных светодиодов (с четырехканальным сумматором)

Источник излучения	ЛД1	ЛД2	ЛД3	ЛД4
Длина волны λ , нм	365	365	365	365
Напряжение питания U , В	10	10	10	10
Мощность на выходе сумматора I , мкВт	0,7	1,7	4,7	26

По итогу эксперимента, суммирование излучений с ЛД1 и ЛД2 дало $I=2,1$ мкВт, суммирование излучений с ЛД3 и ЛД4 дало $I=30$ мкВт, а суммирование излучений со всех четырех ЛД дало $I=32$ мкВт.

Чтобы проверить эффективность суммирования излучения разных длин волн, один из ЛД с $\lambda=365$ нм заменялся на ЛД с $\lambda=385$ нм. В таком случае суммирование излучений со всех ЛД с $\lambda=365$ нм дало $I=1,4$ мкВт, мощность излучения ЛД с $\lambda=385$ нм составила $I=0,718$ мкВт, а сумма всех излучений получилась равной $I=2,118$ мкВт.

Видно, что в четырехканальном сумматоре излучение суммируется также без потерь для излучений как с одной длиной волны, так и с различающимися длинами волн.

Исследование затухания излучения в одиночных волокнах

Полезно было также получить данные о затухании солнечно-слепого УФ излучения ($\lambda=280$ нм) в волокнах из кварцевого стекла и из полимера полиметилметакрилата (ПММА). Как известно характеристики пропускания кварцевого стекла в области $0,3$ мкм значительно лучше, чем у ПММА [6].

Для этого были взяты два волокна длиной 290 см из кварца ($d=0,6$ мм) и из полимера ($d=1$ мм), измерялась мощность излучения на входе в волокно и на выходе. Оценки показывают, что для коротковолнового УФ излучения целесообразно использовать кварцевое волокно.

Выводы

По итогам проделанной работы были реализованы и исследованы двух- и четырехканальный сумматоры, исследованы их характеристики, в том числе, эффективность суммирования излучений с одинаковыми и разными длинами волн. Результаты исследований показали, что в изготовленных сумматорах излучение с длинами волн $\lambda=385$ нм и $\lambda=365$ нм суммируется без потерь. Это значит, что такие сумматоры подходят для использования вместе с матричным передатчиком в УФ линии связи с малыми БПЛА.

Также, было оценено затухание излучения с длиной волны $\lambda=280$ нм в полимерном и кварцевом волокнах. Оценка показывает, что для коротковолнового УФ излучения целесообразно использовать кварцевое волокно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

6. Шастин Л. В., Шахов Н. В. О построении ультрафиолетовой линии связи и ориентации для управления малым беспилотным летательным аппаратом // Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2022. – Т. 8, №2. – С. 161–166.
7. А. В. Бритвин, С. И. Коняев, Н. С. Никитенко, А. В. Поважаев, Б. В. Поллер, Ю. И. Щетинин. Методы построения и экспериментальные характеристики ультрафиолетовых атмосферных линий связи. // Успехи современной радиоэлектроники. – 2019. – №1. – С. 25–28.
8. А. В. Бритвин, Н. С. Никитенко, В. Ф. Плюснин, А. В. Поважаев, Б. В. Поллер. Исследования по полимерной нанофотонике для синтеза сенсорных и телекоммуникационных устройств // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018»: сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 88–94.
9. А. В. Бритвин, А. В. Поважаев, Н. С. Никитенко, Б. В. Поллер. Характеристики оптико-электронной системы для контроля подвижных объектов и сред в приземной зоне лазерного мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018»: сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 151–157.
10. А. В. Бритвин, Н. С. Никитенко, В. Ф. Плюснин, Б. В. Поллер. Энерго-временные преобразования лазерных импульсов в полимерных структурах с люминофорами для систем телекоммуникаций с беспилотными летательными аппаратами // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018»: сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 211–221.
11. В.Н. Серова. Оптические и другие материалы на основе прозрачных полимеров / Казань. – ЕГТУ, 2010 г. – 538 с.

© Л. В. Шастин, А. В. Бритвин, Б. В. Поллер, 2023