

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ «СМАРТЛИНК СОЕДИНЕНИЯ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SLA- И FDM-ТЕХНОЛОГИЙ

В.С. Никитин¹, Э.И. Семёнов², А.В. Солостин¹, В.Г. Шаров², С.В. Чайка¹

¹ Общество с ограниченной ответственностью

«Научно-технологический центр информационной физики «Интрофизика»

(ООО «НТЦ «Интрофизика»), Рыбинск, Россия,

² Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва

(РГАТУ имени П.А. Соловьёва), Рыбинск, Россия

Аннотация

В ходе проведения теоретических исследований в области разработки оптических делителей сигналов между двумерными массивами VCSEL-лазеров и рpн-фотодиодов приёмопередающих модулей полнодуплексных «смартлинк соединений» на основе конструктивных элементов, изготовленных методами 3D-печати, разработан оптический многоканальный делитель сигналов для полнодуплексных «смартлинк соединений» с возможностью его изготовления с использованием SLA- и FDM-технологий.

Ключевые слова: оптоволоконные соединения, массивы, лазеры, фотодиоды, полимеры.

Цитирование: Никитин, В.С. Изготовление оптического делителя для «смартлинк соединения» с использованием SLA- и FDM-технологий / В.С. Никитин, Э.И. Семёнов, А.В. Солостин, В.Г. Шаров, С.В. Чайка // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 1. – С. 57-63. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-57-63.

Введение

Оптический делитель (разветвитель, ответвитель, сплиттер), как правило, является одним из наиболее значимых пассивных элементов любой волоконно-оптической линии передачи.

В современных линиях передачи используются в основном сварные (Fused Biconic Taper, FBT) и планарные (Planar Lightwave Circuit, PLC) оптические делители [1].

При изготовлении сплиттеров типа FBT производят скрутку двух расположенных параллельно друг другу оптических волокон без защитного покрытия. Затем осуществляют их сплавление с использованием водородной печи. Необходимый показатель коэффициента деления сплиттера достигается за счёт заданного растяжения волокон в месте их сплавления. Завершающим этапом формирования сварного сплиттера является его заливка специальным гелем в кварцевой юввете. По данной технологии получают в основном оптические сплиттеры Y- и X-конфигурации, т.е. конфигурации не более 1×4.

Технология изготовления планарных сплиттеров более сложна. Сплиттеры типа PLC изготавливают по толстоплёночной технологии путём размещения оптических волноводов на оптопроводящей подложке. При этом значение коэффициента преломления волноводов отлично от соответствующего показателя подложки. Достаточно серьёзно на работоспособность сплиттера влияют не только разность значений показателей преломления подложки и волновода, но и геометрия сечения канала волноводной схемы, выбор которой в основном и направлен на обеспечение режима работы сплиттера в определённом волновом диапазоне. Планарные сплиттеры, в отличие от сварных, могут иметь более сложную и разветвлённую конфигурацию. Например, конфигурация сплиттера по патенту США 5179604 [2] представляет собой последовательное соединение, состоящее из промежу-

точных конфигураций Y-типа (каждый выход предыдущего Y-разветвителя соединён со входом последующего Y-разветвителя).

Помимо широко используемых делителей, выполненных по сварной и планарной технологиям, известны также оптические делители и с другими технологиями их изготовления.

Для формирования оптических волноводов в ответвителях по патенту США 5208884 [3] используется пресс-форма, в которую осуществляется впрыск под давлением горячего расплава полимера. Окончательно ответвитель формируется после создания оболочки волноводов путём погружения последних в ванну с раствором полимера либо напылением полимера.

Оптический соединитель по патенту США 4881789 [4] сформирован из трёх отдельных кабельных наконечников, содержащих непрерывную стеклянную капиллярную трубку, в которую в имеющееся капиллярное отверстие монтируется оптическое волокно. Обжим оптических волокон осуществляется металлической гильзой.

Также на практике встречаются планарные оптические ответвители, конструкция которых содержит обычные или полупрозрачные зеркала [5]. С использованием зеркал формируются коммутируемые проходные и отражающие ответвители.

Одним из существенных недостатков сплиттеров планарного типа и схожих с ними по способам изготовления является достаточно сложная технология производства, сопряжённая с использованием большого количества исходных материалов (алюминий, кварцевое стекло, силикон, отверждаемая ультрафиолетом эпоксидная смола и пр.) [6].

Повышение технологичности изготовления оптических сплиттеров и, как следствие, снижение себестоимости их производства возможно за счёт применения аддитивных технологий.

1. Применение 3D-печати в фотонике

В настоящее время в фотонике достаточно активно развивается направление использования аддитивных технологий для изготовления оптических элементов, в том числе и оптических делителей сигналов [7].

В лаборатории Disney Research Pittsburgh проводятся исследования по изготовлению 3D-печатных оптических световодов произвольных геометрических форм в составе различных игровых приложений (например, шахмат) для отображения настольных и сенсорных поверхностей. Световоды формируются из материалов разной плотности, при этом диаметр ядра световода составляет порядка 250 мкм, а толщина оболочки – около 84 мкм [8].

В университете Сиднея ведутся работы по изготовлению структурированного оптического волокна путём его вытягивания из 3D-печатных структурированных заготовок. Преформы, содержащие одно кольцо отверстий вокруг сердечника, изготовлены с использованием нити из модифицированного бутадиенового полимера [9].

В рамках проекта, финансируемого научно-исследовательским физико-инженерным советом (EPSRC) Великобритании, ведутся работы по изготовлению сложных структур оптических волокон из сверхчистого стеклянного порошка с использованием методов 3D-печати [10].

В 2009 году специалистами ООО «НТЦ «Интрофизика» был предложен пластинчатый делитель сигналов для «смартлинк соединений» [11]. Применение предложенного изобретения позволило не только осуществить изготовление оптического делителя методами 3D-печати и обойтись в оптической схеме без дорогих оптических элементов в виде микролинз и светоделительных кубов, но и осуществить разделение встречных информационных потоков, реализовав тем самым одновременный приём и передачу информации в оптошину, обеспечивая её полнодуплексную (двунаправленную) работу.

Вместе с тем существенными недостатками этого делителя сигналов стали достаточно высокая сложность изготовления для достижения требуемой точности конструкции и, как следствие, высокая себестоимость, а также определённая громоздкость конструкции в случае размещения линеек световодов приёмников и передатчиков в одном корпусе при увеличении расстояния между массивами передатчиков и приёмников в зависимости от топологии платы.

Разработка многоканального делителя сигналов для полнодуплексного «смартлинк соединения» (заявка на изобретение № 2015118753 от 19.05.2015 г.) позволила свести к минимуму недостатки пластинчатого делителя.

2. Многоканальный делитель сигналов

Многоканальный делитель сигналов для «смартлинк соединения» (рис. 1) состоит из платы 1, на которой расположены корпуса микросхемы массивов оптических передатчиков 2 и оптических приёмников 3.

Делитель содержит расширитель светового потока 5 и соединённый с ним набор сложенных вплотную пластин световодов оптических приёмников 7 и пластин световодов оптических передатчиков 8. Набор пластин со световодами содержит два вида пластин 7 и 8 разной длины и формы, чередующихся друг с другом в пакете делителя 4. При этом чередующиеся пластины соединены одной стороной так, чтобы образовался общий торец, заканчивающийся у расширителя светового потока 5, расположенного перед оптошиной, а другие стороны образовали отдельные торцы, заканчивающиеся у массивов оптических передатчиков 2 и приёмников 3.

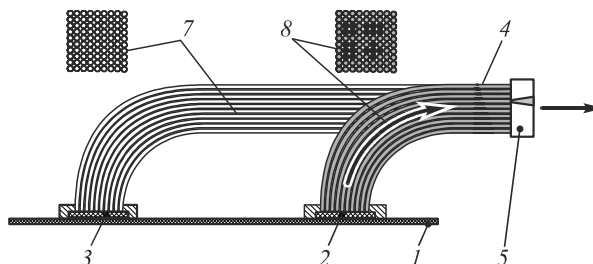


Рис. 1. Схема многоканального делителя сигналов: 1 – плата; 2 – массив оптических передатчиков (лазеров или светодиодов); 3 – массив оптических приёмников (фотодиодов); 4 – делитель; 5 – расширитель светового потока; 7 – пластина световодов оптических приёмников; 8 – пластина световодов оптических передатчиков

Пластины 7 и 8 образованы набором оптоволоконных световодов, соприкасающихся боковыми поверхностями, при этом в месте контакта друг с другом оптоволоконные световоды склеены, приварены или соединены друг с другом иным образом. Пластины 7 и 8 могут иметь плоскую или произвольную трёхмерную форму.

Расширитель светового потока 5 выполнен в виде пластины из прозрачного материала, он расположен у общего торца делителя 4, обращённого к месту соединения с оптошиной. Расширитель светового потока 5 может быть выполнен в виде объёма, заполненного прозрачным пластиком, гелем или воздухом. Выходя из световода в прозрачный материал, луч света, вследствие наличия апертурного угла, расширяется, образуя освещённую область, размер которой может быть значительно больше диаметра ядра оптического волокна, образующего световод. Варьируя толщину расширителя светового потока 5, можно подобрать такую степень расширения лучей, которая обеспечивает устойчивое функционирование «смартлинк соединения» и надёжное восстановление его работоспособности при различных смещениях оптических шин относительно друг друга, а также относительно массивов приёмников и источников сигналов.

Принцип работы многоканального делителя сигналов для «смартлинк соединения» показан на рис. 2.

Оптический сигнал, сформированный от нескольких пикселей массива передатчиков 2 (сечение А–А), передаётся по пакету световодов оптических передатчиков 8 к расширителю 5, образуя картину, показанную сечением В–В. Проходя оптошину 6 и расши-

ритель 5 второго делителя 4, световые потоки расширяются, образуя картину, показанную сечением С–С. Накрывая несколько световодов пакета 7, оптические сигналы образуют на массиве оптических приёмников 3 картину, показанную сечением D–D.

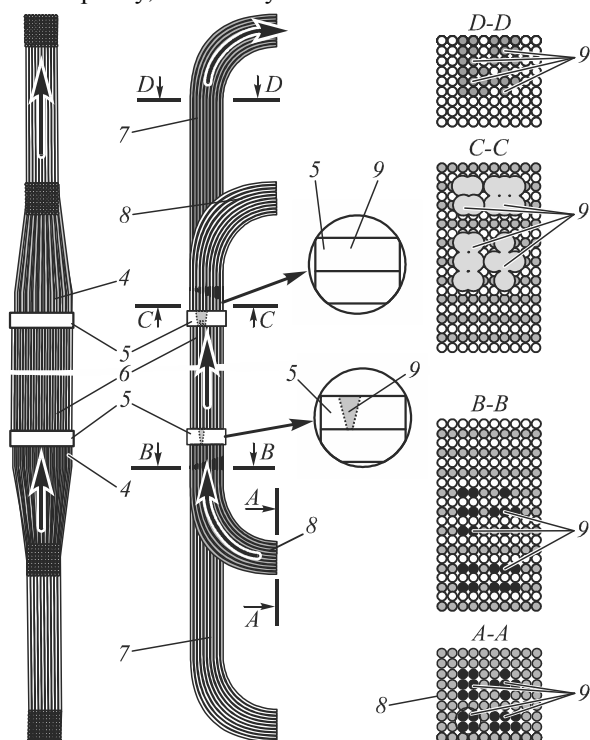


Рис. 2. Принцип работы многоканального делителя сигналов для «смартлинк соединения»:

4 – делитель; 5 – расширитель светового потока; 6 – оптошина (световодный жгут); 7 – пластина световодов оптических приёмников; 8 – пластина световодов оптических передатчиков; 9 – области засветки оптошины входящим сигналом

Применение расширителей 5 светового потока позволяет исключить замыкание световых потоков при совпадении встречных каналов пластин 7 и 8, так как световые потоки, расширяясь в расширителе световых потоков 5, будут способны засвечивать соседние оптические каналы. Таким образом, обеспечивается деление и прохождение светового потока через делители и оптошину при любых смещениях оптических каналов при соединении двух делителей 4 и оптической шины 6. Аналогичные процессы происходят при распространении оптических сигналов с противоположного направления, обеспечивая работу оптошины 6 в полнодуплексном режиме.

3. Печать многоканальных делителей сигналов с применением 3D-методов

Предварительно проведённые теоретические исследования выявили возможность эффективного изготовления многоканального оптического делителя для полнодуплексного «смартлинк соединения» с использованием некоторых технологий 3D-печати, например:

- технологии лазерной стереолитографии (Stereo Lithography Apparatus, SLA);

- технологии послойного наплавления (Fused Deposition Manufacturing, FDM).

3.1. Применение SLA-технологии

Основным элементом SLA-технологии является ультрафиолетовый лазер или иной схожий источник энергии, под действием которого происходит отверждение слоя фотополимерной смолы, формирующей контур воспроизводимого изделия [12].

Для исследования практического применения SLA-технологии при изготовлении многоканального оптического делителя использовался 3D-принтер Mii-Craft [13]. При этом обрабатывались два основных направления: послойное и монолитное исполнение оптического делителя.

Процесс послойного изготовления оптического делителя из отдельных пластин, на разноимённых сторонах которых размещены разнонаправленные световоды, показан на рис. 3.

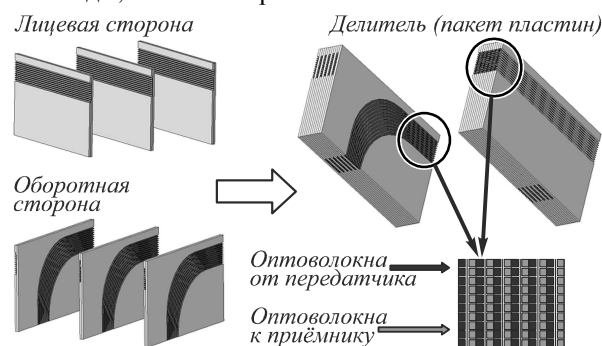


Рис. 3. Послойное изготовление оптического делителя

Пластины как основа делителя выращиваются из непрозрачной или полупрозрачной смолы. Световоды на пластинах могут формироваться двумя способами.

По первому способу на предварительно отполированную химическим способом поверхность пластин наносят слой металла с высокой отражающей способностью вакуумным напылением или химическим способом. После пакетирования пластин с определённым зазором между ними производят заполнение зазора оптическим полимером с последующим вакуумированием и вибрационным воздействием для однородного заполнения каналов пластин оптическим полимером. Завершающим этапом является плотное пакетирование до полной полимеризации залитого материала.

По второму способу на пластины сначала наносят тонкий слой оптического полимера, имитирующего оболочку будущего оптоволокна, затем – слой полимера с более высоким коэффициентом преломления, имитирующего сердцевину оптоволокна.

Процесс монолитного изготовления оптического делителя, заключающийся в одновременном формировании и разнонаправленных световодов, и корпуса, показан на рис. 4.

Оптический делитель выращивается в вертикальном положении от торца корпуса, содержащего общий пучок световодов. Все элементы делителя формируются одновременно из прозрачной смолы. После полного отверждения смолы производят заполнение

внутренних полостей корпуса оптически прозрачным материалом с показателем коэффициента преломления меньшим, чем у материала смолы, из которой выращены оптоволокна.

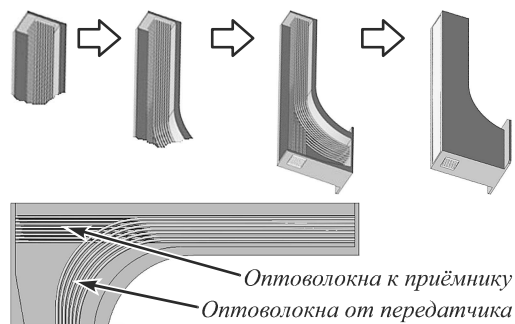


Рис. 4. Монолитное изготовление оптического делителя

3.2. Применение FDM-технологии

При использовании FDM-технологии формирование контура изделия осуществляется за счёт послойного наложения расплавленной термопластичной нити на предыдущие, уже кристаллизованные слои [14].

Для исследования практического применения FDM-технологии при изготовлении многоканального оптического делителя использовался 3D-принтер Wanhao Duplicator 4X Black DH [15].

Пластины световодов диаметром 140 мкм формировались из специальных полимерных оптоволоконных нитей, используемых в качестве филамента 3D-принтера. Принтер печатал заготовки из световодов в виде плоских оптошин (пакетов световодов) (рис. 5).

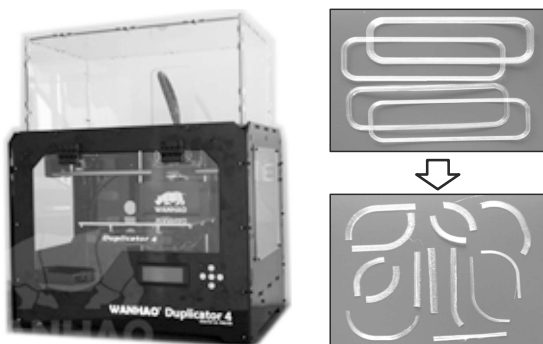


Рис. 5. Wanhao Duplicator и пакеты световодов

Световоды имеют прямоугольную форму и размеры $0,45 \times 0,25$ мм (рис. 6).

Сердцевина световодов выполнена из метилметакрилата (ММА) и метилакрилата (МА), ингибированных нитроксильным радикалом 2,2,6,6-тетраметил-4-оксиперидин-1-оксил. Оболочка световодов выполнена из поли-2,2,3,3-тетрафторпропилметакрилата (п-МН-1) и поли-2,2,3,3-тетрафторпропил- α -фторакрилата (п-ФН-1). После печати нужного количества пакетов их разрезали и устанавливали в корпус делителя, изготовленного на 3D-принтере MiiCraft (рис. 7), и фиксировали клеем (рис. 8).

Заключение

Таким образом, специалистами ООО «НТЦ «Интрофизика» был разработан многоканальный оптиче-

ский делитель для полнодуплексных «смартлинк соединений» с возможностью его изготовления с использованием SLA- и FDM-технологий. Учитывая миниатюрность изготавливаемых для делителя оптических волокон, FDM-технология оказалась более предпочтительной в плане получения конечного изделия более высокого качества.

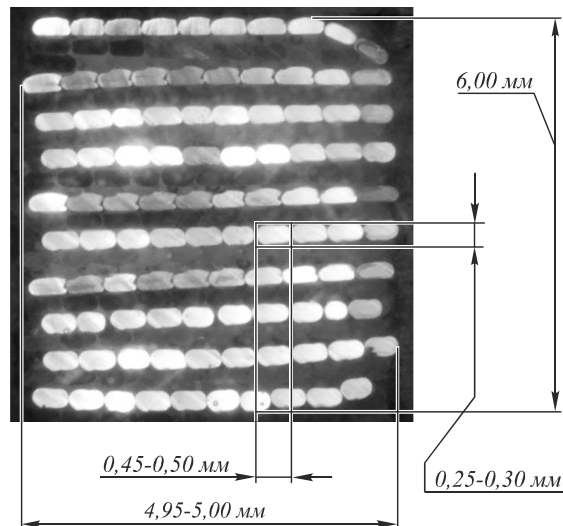


Рис. 6. Сечение оптического делителя, размеры световодов

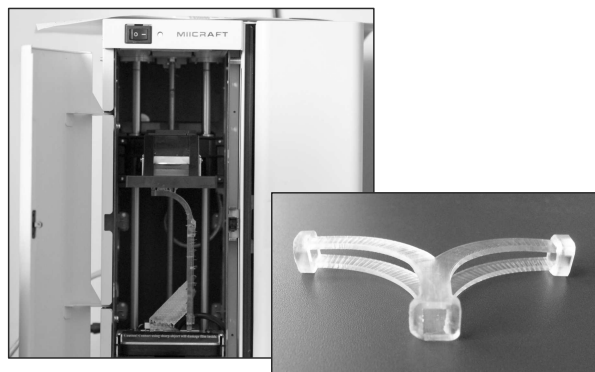


Рис. 7. MiiCraft и корпус оптического делителя

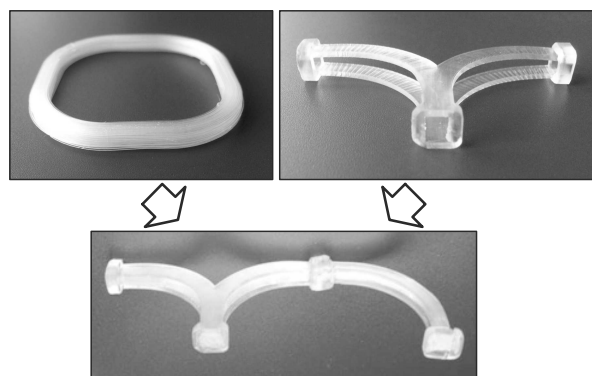


Рис. 8. Монтаж световодов в корпус оптического делителя «смартлинк соединения»

Разработанный многоканальный оптический делитель способен делить поступающие световые сигналы между оптическими волокнами приёмника и передатчика. Оценка светопропускания изготовленного оптического делителя будет сделана позже.

Благодарности

Работа выполнена в рамках ПНИ в соответствии с Соглашением с Министерством образования и науки РФ о предоставлении субсидии от 24.11.2014 г. №14.579.21.0067, уникальный идентификатор проекта: RFMEFI57914X0067.

Литература

1. PON Splitters [Электронный ресурс]. – URL: http://www.fs.com/c/pon-splitters_1017 (дата обращения 05.11.2015).
2. **U.S. Patent 5,179,604 G 02 B 6/28, 385/24.** Waveguide-type coupler/splitter / Н. Yanagawa, Т. Shimizu, S. Nakamura, I. Oyama, filed of December 24, 1991, published of January 12, 1993.
3. **U.S. Patent 5,208,884 G 02 B 6/26, 385/46.** New multi-compatible optical coupler produced by injection molding / W. Groh, А. Brockmeyer, J. Theis, Т. Stehlin, filed of March 21, 1991, published of May 4, 1993.
4. **U.S. Patent 4,881,789 G 02 B 6/26, 350/96/15.** Integrated optical coupler and connector / F.H. Levinson, filed of May 26, 1988, published of November 21, 1989.
5. Оптический сплиттер – как основной элемент сетей PON [Электронный ресурс]. – URL: <http://optokon.ua/arts/opticheskii-splitter-kak-osnovnoi-element-setei-pon/> (дата обращения 07.11.2015).
6. Typical example of photonic packaging [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.chinacablesbuy.com/category/epn-gpon-systems/page/2> (дата обращения 07.11.2015).
7. **Ehsan, A.** Rapid prototyping of plastic optical fiber coupler [Электронный ресурс]. – URL: http://www.researchgate.net/publication/269291826_Rapid_prototyping_of_plastic_optical_fiber_coupler (дата обращения 07.11.2015).
8. **Owano, N.** Disney's magical vision calls for 3-D printed optical elements (w/ Video) [Электронный ресурс]. – URL: <http://phys.org/news/2012-10-disney-magical-vision-d-optical.html> (дата обращения 09.11.2015).
9. **Canning, J.** Air-structured optical fibre drawn from a 3D-printed preform [Электронный ресурс]. – URL: http://www.researchgate.net/publication/280627462_Air-structured_optical_fibre_drawn_from_a_3D-printed_preform (дата обращения 09.11.2015).
10. **Mandalia, R.** Can 3D printing techniques be used to fabricate optical fibre? Researchers investigate [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.techienews.co.uk/9735982/can-3d-printing-techniques-be-used-to-fabricate-optical-fibre-researchers-investigate/> (дата обращения 07.11.2015).
11. **Пат. 2419129 Российская Федерация G 06 F 3/042, H 01 L 27/14.** Многоканальный делитель сигналов для смартлинков / Никитин В.С.; заявитель и правообладатель ООО «НТЦ «Интрофизика»; № 2009131971, заявл. 24.08.2009, опубл. 20.05.2011, Бюл. № 14. – 7 с.: ил.
12. Стереолитография (SLA) [Электронный ресурс]. – URL: http://3dtoday.ru/wiki/SLA_print/ (дата обращения: 5.09.2015).
13. MiiCraft+ Overview [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.miicraft.com/product/> (дата обращения: 7.09.2015)
14. Fused Deposition Modeling (FDM) [Электронный ресурс]. – URL: <http://manufacturing.materialise.com/fdm> (дата обращения: 12.09.2015)
15. Wanhao Duplicator 4X Black DH [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.wanhao3dprinter.com/Unboxin/ShowArticle.asp?ArticleID=28> (дата обращения: 13.09.2015).

Сведения об авторах

Никитин Владимир Степанович, 1955 года рождения, в 1976 году окончил Тбилисское высшее артиллерийское командное училище по специальности 02.05.08 «Технология машиностроения», кандидат технических наук, работает директором общества с ограниченной ответственностью «Научно-технологический центр информационно-физики «Интрофизика» (ООО «НТЦ «Интрофизика», г. Рыбинск Ярославской обл.). Область научных интересов: научные исследования и разработки в области естественных и технических наук. E-mail: 505z@mail.ru.

Семёнов Эрнст Иванович, 1942 года рождения, в 1965 году окончил Рыбинский вечерний авиационный технологический институт (ныне – Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва – РГАТУ им. П.А. Соловьёва) по специальности 0705 «Конструирование и производство радиоаппаратуры», доктор технических наук, работает профессором в Рыбинском государственном авиационном техническом университете имени П.А. Соловьёва (РГАТУ имени П.А. Соловьёва, г. Рыбинск Ярославской обл.). Область научных интересов: контроль процессов получения тонких плёнок, автоматика, радиоэлектроника, микроэлектроника, вычислительная техника. E-mail: e.i.semenov@mail.ru.

Солостин Александр Викторович, 1971 года рождения, в 1998 году окончил Санкт-Петербургскую Михайловскую артиллерийскую академию по специальности «Математические методы и исследование операций», работает заместителем директора общества с ограниченной ответственностью «Научно-технологический центр информационно-физики «Интрофизика» (ООО «НТЦ «Интрофизика», г. Рыбинск Ярославской обл.). Область научных интересов: научные исследования и разработки в области естественных и технических наук, 3D-моделирование. E-mail: 2Isolo@mail.ru.

Шаров Владимир Григорьевич, 1945 года рождения, в 1971 году окончил Ленинградский политехнический институт имени М.И. Калинина (ЛПИ им. М.И. Калинина, ныне – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого – СПбПУ Петра Великого) по специальности «Аэродинамика и термодинамика», кандидат физико-математических наук, работает проректором в Рыбинском государственном авиационном техническом университете имени П.А. Соловьёва (РГАТУ имени П.А. Соловьёва, г. Рыбинск Ярославской обл.).

обл.). Область научных интересов: математическое и программное обеспечение систем обработки информации и управления, базы данных. E-mail: sharov@rsatu.ru.

Чайка Сергей Владимирович, 1987 года рождения, в 2009 году окончил Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва (РГАТУ им. П.А. Соловьёва) по специальности 09.03.04 «Программная инженерия», работает программистом в обществе с ограниченной ответственностью «Научно-технологический центр информационной физики «Интрофизика» (ООО «НТЦ «Интрофизика», г. Рыбинск Ярославской обл.). Область научных интересов: системы передачи данных, моделирование сложных систем. E-mail: chaika_sv@mail.ru.

*Поступила в редакцию 21 сентября 2015 г.
Окончательный вариант – 28 февраля 2016 г.*

DESIGN OF AN OPTICAL DIVIDER FOR ‘SMARTLINK CONNECTION’ WITH USE OF SLA AND FDM 3D PRINTING TECHNOLOGY

V.S. Nikitin¹, E.I. Semyonov², A.V. Solostin¹, V.G. Sharov², S.V. Chayka¹

¹ Scientific and Technological Center of Physics of Information «Introfizika», Ltd, Rybinsk, Russia,

² P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk, Russia

Abstract

We conducted a theoretical study of the development of optical signal dividers for two-dimensional arrays of VCSEL-lasers and PIN photodiodes used in transceivers of full duplex ‘Smartlink connections’ with the constituent components fabricated by 3D printing. A multi-channel optical signal divider for full duplex ‘Smartlink connections’ that can be fabricated using 3D printing technologies, such as SLA (Stereolithography) and FDM (Fused Deposition Modeling), was designed.

Keywords: fiber optic connections, arrays, lasers, photodiodes, polymers.

Citeas: Nikitin VS, Semyonov EI, Solostin AV, Sharov VG, Chayka SV. Design of an optical divider for ‘smartlink connection’ with use of SLA and FDM 3D printing technology. Computer Optics 2016; 40(1): 57-63. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-57-63.

Acknowledgements: The work was partially funded under the Agreement with the RF Ministry of Education and Science No. 14.579.21.0067, grant RFMEFI57914X0067.

References

- [1] PON Splitters. Source: http://www.fs.com/c/pon-splitters_1017.
- [2] Yanagawa H, Shimizu T, Nakamura S, Oyama I. Waveguide-type coupler/splitter. US Pat 5,179,604. Filed of December 24, 1991. Published of January 12, 1993.
- [3] Groh W, Brockmeyer A, Theis J, Stehlin T. New multicompatible optical coupler produced by injection molding. US Pat 5,208,884. Filed of March 21, 1991. Published of May 4, 1993.
- [4] Levinson FH. Integrated optical coupler and connector. US Pat 4,881,789. Filed of May 26, 1988. Published of November 21, 1989.
- [5] Optical splitter – as the main element of PON networks [In Russian]. Source: <http://optokon.ua/arts/opticheskii-splitter-kak-osnovnoi-element-setei-pon/>.
- [6] Typical example of photonic packaging. Source: <http://www.chinacablesbuy.com/category/epon-gpon-systems/page/2/>.
- [7] Ehsan A. Rapid prototyping of plastic optical fiber coupler. Source: http://www.researchgate.net/publication/269291826_Rapid_prototyping_of_plastic_optical_fiber_coupler.
- [8] Owano N. Disney's magical vision calls for 3-D printed optical elements (w/ Video). Source: <http://phys.org/news/2012-10-disney-magical-vision-d-optical.html>.
- [9] Canning J. Air-structured optical fibre drawn from a 3D-printed preform. Source: http://www.researchgate.net/publication/280627462_Air-structured_optical_fibre_drawn_from_a_3D-printed_preform.
- [10] Mandalia R. Can 3D printing techniques be used to fabricate optical fibre? Researchers investigate. Source: <http://www.techienews.co.uk/9735982/can-3d-printing-techniques-be-used-to-fabricate-optical-fibre-researchers-investigate/>.
- [11] Nikitin VS. Multi-channel signal splitter for Smartlink [In Russian]. Pat RF of Invent N 2419129 of May 20, 2011, Russian Bull of Inventions N14, 2011.
- [12] Stereolithography (SLA). Source: http://3dtoday.ru/wiki/SLA_print/.
- [13] MiiCraft+ Overview. Source: <http://www.miicraft.com/product/>.
- [14] Fused Deposition Modeling (FDM). Source: <http://manufacturing.materialise.com/fdm>.
- [15] Wanhao Duplicator 4X Black DH. Source: <http://www.wanhao3dprinter.com/Unboxin/ShowArticle.asp?ArticleID=28>.

Authors' information

Vladimir Stepanovich Nikitin (b. 1955) graduated from Tbilisi Higher Artillery Command School in 1976, Technology of Mechanical Engineering, candidate of Technical Sciences. He works as director of Scientific and Technological Center of Physics of Information «Introfizika». His research interests: research and experimental development on natural sciences and engineering. E-mail: 505z@mail.ru .

Ernst Ivanovich Semenov (b. 1942) graduated from the evening Rybinsk Aviation Technological Institute (now - Rybinsk State Aviation Technical University) in 1965, Design and Manufacture of Radio, doctor of Technical Sciences. He works as a professor in the Rybinsk State Aviation Technical University named of P.A. Solovyov. His research interests: the control processes of thin films, automation, electronics, microelectronics, computer technology. E-mail: e.i.semenov@mail.ru .

Alexander Viktorovich Solostin, (b. 1971) graduated from the St. Petersburg Mikhailovsky Artillery Academy in 1998, Mathematical Methods and Operations Research. He works as deputy director and Technological Center of Physics of Information «Introfizika». His research interests: research and experimental development on natural sciences and engineering, 3D modeling. E-mail: 2Isolo@mail.ru .

Vladimir Grigoryevich Sharov (b. 1945), graduated from the Leningrad Polytechnic Institute of M.I. Kalinin (now St. Petersburg Polytechnic University, Peter the Great) in 1971, Aerodynamics and Thermodynamics, candidate of Physical and Mathematical Sciences. He works as pro-rector in Rybinsk State Aviation Technical University of P.A. Solovyov. His research interests: mathematical and software systems for information processing and management of the database. E-mail: sharov@rsatu.ru .

Sergey Vladimirovich Chayka (b. 1987), graduated from the Rybinsk State Aviation Technical University, PA Solovyov in 2009, Software Engineering. He works as a programmer in the Scientific and Technological Center of Physics of Information «Introfizika». His research interests: data transmission systems, modeling of complex systems. E-mail: chaika_sv@mail.ru .

Received September 21, 2015. The final version February 28, 2016.
