

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

В.Д. Зюзин, магистрант

А.В. Коробов, магистрант

В.В. Чернов, студент

**Московский технический университет связи и информатики
(Россия, г. Москва)**

DOI: 10.24411/2500-1000-2020-11037

Аннотация. В статье рассматривается возникновение волоконно-оптических компонентов, а также их значение в современном мире. Существуют различные методы производства волоконно-оптических волокон. Методы оценки качества оптоволокна разделяются на: метод обрыва, метод сравнения, метод сопряжения волокон, метод микроизгиба волокна, иммерсионный метод, метод экспресс-контроля. Популярность волоконно-оптических линий также объясняется описанными в статье факторами.

Ключевые слова: волоконно-оптические компоненты, волокно, многомодовое и одномодовое волокно, метод микроизгиба волокна, иммерсионный метод.

В настоящее время главнейшее место занимают важные ресурсы, как время и информация. В процессе формирования механического процесса и научной деятельности, население мира, не прекращая, формирует способы обработки информации. Началом такого процесса было изготовление первого ПК. Такое изобретение помогало в самые короткие сроки перерабатывать информационные ресурсы и массивы данных. По данной причине возникла проблема экономии времени не только лишь в обработке информации, а также на ее детерминации. Данное обстоятельство было уточнено с появлением волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Они представляют собой большую пропускную технику, в отличие от проводников других видов, также огромную дальность детерминации информации. Данные линии связи являются следующим видом линий связи, где информационные ресурсы перемещаются по оптическим диэлектрическим волноводам. Данные такой линии имеют наибольшую скорость передачи информации. Базой волоконно-оптической линии связи является оптоволоконный кабель. Такой кабель представляет собой провод, состоящий из проводников, которые покрыты специальным покрытием [2]. Важное отличие такого кабеля состоит в том, что для перемещения информации применя-

ются фотоны. В тот момент, когда в медных кабелях передача информации происходит с помощью электронов.

Выделяется два типа оптических волокон – многомодовое волокно и одномодовое волокно.

Существует 2 большие группы методов изготовления оптоволокон с малыми потерями: традиционные стекольные и новые. Традиционные стекольные: методы двойного тигля и разделения фаз. Ими не обеспечивается необходимый уровень чистоты материалов. Как следствие, волокна, изготовленные с помощью данных методов, характеризуются значительными оптическими потерями – от 100 до 1000 дБ/км. Новые: в их основе – химическое парафазное осаждение (CVD – Chemical Vapor Deposition).

Методы производства волоконно-оптических компонентов

CVD-ПРОЦЕССЫ. Производство волокон для оптических кабелей с помощью новых методов имеет 2 основные стадии:

1. Изготовление заготовки.
2. Вытяжка волокна из нее.

Так как вытяжка волокон производится практически по одинаковым технологиям и оборудованию, различия между новыми методами проявляются лишь на первой стадии – изготовления заготовки [1].

Данные различия в основном обусловлены тем, что массовое производство волокон требует заготовки большого размера. Из-за относительно небольших скоростей процесса химического парафазного осаждения изготовление их – достаточно сложный процесс.

Время на изготовление заготовок, как правило, велико, что связано в основном с низкой скоростью осаждения слоев. Различные варианты CVD-процессов характеризуются изменением скорости осаждения слоев в довольно широких пределах – от 0,5 до 6 г/мин. И если масса заготовки составляет, к примеру, 7 кг, то даже при наибольшей скорости осаждения (6 г/мин) необходимо будет значительное время – порядка 20 часов. При меньшей скорости осаждения изготовление такой большой заготовки способом осаждения практически нереально.

Для таких случаев предусмотрен комбинированный метод: сердцевина заготовки из сверхчистого кварцевого стекла изготавливается посредством CVD-процесса, после чего на нее надевается кварцевая трубка (жакетирование) либо используют другой способ осаждения слоя кварцевого стекла.

В настоящее время в производстве оптических волокон применяются 3 основных варианта парафазного осаждения:

1. Внутреннее (IVD – Inside Vapor Deposition), обозначаемое также как модифицированное химическое (MCVD – Modified Chemical Vapor Deposition);

2. Внешнее (OVD – Outside Vapor Deposition);

3. Осевое (VAD – Vapor Axial Deposition).

Внутреннее осаждение. В методе MCVD газовая горелка находится снаружи, и пары воды, которые образуются в ее пламени, не попадают в слои стекла, осаждающиеся за счет теплового окисления внутри опорной трубки. Изготовление начинается с отбора опорных трубок, затем выбранную трубку промывают плавиковой кислотой и дистиллированной водой, высушивают и закрепляют горизонтально в патронах тепломеханического станка.

Вдоль вращающейся трубки перемещается кислородно-водородная горелка, нагревающая эту трубку до 1500–1700 градусов по Цельсию, что достаточно для осаждения на нее слоев SiO₂ и GeO₂. Вращением трубки обеспечивается ее равномерный прогрев по сечению и осесимметричное осаждение окислов на ее поверхности.

В начале процесса опорная трубка полируется в пламени горелки. Затем на нее подается парогазовая смесь, которая образуется при прокачке кислорода через смесители, заполненные жидкими галоидами кремния, германия и т.д. В горячей зоне окислы SiO₂ и GeO₂ оседают в виде ультратонкого мелкодисперсного порошка – белой сажи.

Внешнее осаждение. Метод внешнего осаждения (OVD) был разработан как альтернатива внутреннему парафазному осаждению. Также использует процесс гидролиза пламени, однако вместо опорной трубки в нем применяется затравочный керамический стержень диаметром от 5 до 10 мм, который закреплен в тепломеханическом станке примерно в 15 см от горелки. Направляемые на этот стержень нагретые порошкообразные частицы стекла и легирующие окислы, образующиеся в пламени многосопловой горелки, прилипают к нему в виде белой сажи, в результате формируется многослойная микропористая заготовка. Удаление неосевших частиц стекла и газообразных побочных продуктов происходит через вытяжную трубу. После того, как частицы осели, данная микропористая заготовка благодаря разности коэффициентов температурного расширения легко снимается с затравочного стержня (поэтому он может использоваться многократно). Заготовку помещают в печь с инертным газом, где она остекловывается при температуре около 1500 градусов по Цельсию и из нее удаляются газы – они выходят через микропоры и не захватываются в виде пузырьков в полностью остеклованной заготовке. За счет того, что заготовка в процессе остекловывания обрабатывается газообразным хлором, удаляются практически все примеси гидроокисла, которые в эту заготовку могут внести образующиеся при осажде-

нии стеклянных микрочастиц продукты сгорания горючего газа.

Осевое осаждение. С помощью метода осевого осаждения (VAD), называемого также методом Вернейля, заготовки можно в принципе изготавливать неограниченной длины. Рост заготовки происходит в осевом направлении, а профиль показателя преломления задается посредством изменения концентрации примесей по радиусу.

При формировании заготовки применяются несколько кислородно-водородных горелок, благодаря чему увеличивается производительность метода (до 6 г/мин). Посредством одной горелки осаждаются продукты гидролиза в пламени на торцевую поверхность затравочного стержня, таким образом формируется сердцевина заготовки. Сразу за этим с помощью дополнительных горелок формируется и ее оболочка. Далее полученную микропористую заготовку нагревают в печи примерно до 1600 градусов по Цельсию, и в результате стеклования получается прозрачная заготовка.

Основное достоинство метода осевого осаждения состоит в его высокой производительности – более 25% оптических волокон в линиях связи по всему миру изготовлены посредством VAD-метода. К относительным недостаткам метода, препятствующим его более широкому внедрению, относится сложность автоматизированной системы управления из-за большого количества параметров, подлежащих контролю и регулированию.

При грамотном проектировании будущей системы и профессиональном монтаже применение волоконно-оптических линий обеспечивает ряд существенных преимуществ:

– Высокую пропускную способность за счёт высокой несущей частоты.

– Волоконно-оптический кабель отличается низким уровнем шума, что положительно сказывается на его пропускной способности и возможности передавать сигналы различной модуляции.

– Пожарная безопасность (пожароустойчивость).

– Благодаря малому затуханию светового сигнала оптические системы могут объ-

единять рабочие участки на значительных расстояниях (более 100 км) без использования дополнительных ретрансляторов (усилителей).

– Информационная безопасность. Волоконно-оптическая связь обеспечивает надёжную защиту от несанкционированного доступа и перехвата конфиденциальной информации. Именно поэтому ВОЛС активно используют современные банки, научные центры, правоохранительные организации и прочие структуры, работающие с секретной информацией.

– Высокая надёжность и помехоустойчивость системы. Волокно, будучи диэлектрическим проводником, не чувствительно к электромагнитным излучениям, не боится окисления и влаги.

– Экономичность. Несмотря на то, что создание оптических систем в силу своей сложности дороже, чем традиционных СКС, в общем итоге их владелец получает реальную экономическую выгоду. Оптическое волокно, которое изготавливается из кварца, стоит примерно в 2 раза дешевле медного кабеля, дополнительно при строительстве обширных систем можно сэкономить на усилителях.

– Срок службы волоконно-оптических линий составляет полтора четверти века. Через 25 лет непрерывного использования в несущей системе увеличивается затухание сигналов.

– При сравнении медного и оптического кабелей, во время одинаковой пропускной способности оптический кабель будет иметь вес в 4 раза меньше, а объём также будет меньше, чем медного.

– Волоконно-оптические линии являются перспективными в использовании. Их использование помогает накапливать возможности вычисления локальных сетей с помощью разработки наиболее быстрого активного оборудования, тем более без замены линий общения [3].

Методы тестирования оптического кабеля

Волоконно-оптические кабели применяются на данном этапе в более широких областях, например, на магистральных линиях и корпоративных систем перемещения данных, а также на локальных компь-

ютерных сетях. Достоинство бесспорно: скорость передач информации, которая существует в оптических кабелях, недоступна для медных.

Большое значение имеет также то преимущество, что проверять волоконно-оптический кабель гораздо легче. Измеряется меньшее количество характеристик, в первую очередь, лишь потери в кабеле, потому что перекрестных неполадок нет. Помимо этого, оборудование для тестирования волоконно-оптических каналов намного дешевле, чем для медных.

Вне зависимости от возрастающего многообразия приборов измерения, главной помощью специалиста по разработке и эксплуатации волоконно-оптических систем является оптический тестер – это наиболее известное измерительное средство. Данный прибор применяется при контроле на входе параметров кабеля оптики, а также его монтаже, приемных испытаниях системы кабеля, параметров контроля выхода активного оборудования и обслуживания линии действия. Достоинством данного прибора является легкость использования, небольшие габаритные характеристики, автономное питание и относительно невысокая цена. Такой тестер осуществляет приемлемо высокую точность измеримости, статичность параметров на протяжении полного времени измерения, комфортен в использовании, компактен и экономичен.

С целью объективного тестирования волоконно-оптических систем тестер необходимо выбирать согласно активному оборудованию сети компьютера.

Тестер используется для измеримости мощности оптического излучения и выявления избытков в оптических световодах и кабелях. Поэтому волоконно-оптический тестер должен поддерживать:

- высокий диапазон динамики, приемлемый для тестирования поверхности кабеля между усилителями;
- необходимую четкость измерения в требуемом диапазоне спектра;
- вероятность измерений в глубоком диапазоне;
- длительную статику характеристик;

– небольшую энергозатрату, которая обеспечивает долговременную работу одного сборника батарей.

По продуктивному применению тестеры классифицируются по двум типам: наборы из двух приборов – источника и измерителя и сочетающиеся в одном корпусе источник и измеритель. Тестеры по форме комплекта наиболее универсальные, потому что помогают использовать огромное количество способов измерения.

Зачастую источниками для тестеров являются полупроводниковые диоды лазера или светодиоды. Полупроводниковые используются в одномодовых системах, а светодиоды применяются в многомодовых линиях связи с маленькой протяженностью. Лазерные диоды обладают большей мощностью, угловая апертура их излучения гораздо меньше, мощность в световоде выше. Но цена лазеров значительно выше, а создать их статичную работу очень сложно.

Метод обрыва. Такой метод используется с целью измерения ущерба в кабелях оптики до их прокладки и оконцевания. Метод базируется на сравнительных вопросах по уровню мощности на выходе большого отрезка тестируемого кабельного устройства с уровнем, который измерен на маленьком отрезке. Говоря другими словами, вначале происходит измерение уровня P2 на выходе строительной длины кабеля. После этого волокно отрезают рядом с источником и измеряют P1 на данном отрезке. Ущерб выявляется согласно предшествующему случаю. Данный метод определяется как наиболее точный и достоверный, в отличие от метода вносимых потерь, однако он зависит от качественной подготовки торцов волокна и четкого применения правил измерения.

Метод сравнения (сличения). Применяется с целью выявления ущерба с кабелем. Звук от источника с помощью равноплечного разветвителя подразделяется на пару каналов, первый канал подается напрямую к измерителю и является реперным уровнем, второй канал входит в волоконно-оптический кабель, а затем на вход того же измерителя. Разность значений мощности между двумя каналами указы-

вает величину ущерба в кабеле. Плюсом данного метода является большая точность, потому что не применяется воздействие флуктуаций мощности на выходе источника по мере протекания времени. Применяется такой метод, в первую очередь, на заводах при выходном контроле характеристик кабеля, его испытаниях.

Метод сопряжения волокон. Используется для выявления ущерба в кабеле с количеством волокон не менее трех. Источник и приемник присоединяется к волокнам кабеля на односторонней линии.

Библиографический список

1. Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. – М: Горячая линия – Телеком, 2012. – 400 с.
2. Ночивелли А. Полимерные волокна – универсальный оптический доступ // Lightwave Russian Edition. – 2006. – № 3. – С. 4.
3. Богатырева В.В., Дмитриев А.Л. Оптические методы обработки информации. – СПб., 2009.
4. Воронин В.Г., Наний О.Е. Основы нелинейной волоконной оптики. – М.: Университетская книга, 2011.
5. Листвин В.Н., Трещиков В.Н. DWDM – системы. – М.: Издательский дом «Наука», 2015.
6. Наний О.Е., Туркин А.Н. Оптические методы в информатике. – М.: Университетская книга, 2010.
7. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели связи. – М.: Экл-Тренз, 2002.

METHODS OF PRODUCTION AND QUALITY ASSESSMENT OF FIBER-OPTIC COMPONENTS

V.D. Zyuzin, Graduate Student

A.V. Korobov, Graduate Student

V.V. Chernov, Student

**Moscow Technical University of Communications and Informatics
(Russia, Moscow)**

Abstract. The article discusses the emergence of fiber-optic components, as well as their significance in the modern world. There are various methods for producing fiber-optic fibers. Methods for evaluating the quality of optical fibers are divided into: breakage method, comparison method, fiber coupling method, fiber micro-bending method, immersion method, and Express control method. The popularity of fiber-optic lines is also explained by the factors described in the article.

Keywords: fiber-optic components, fiber, multimode and single-mode fiber, micro-bending method, immersion method.