

$$h_{k-1}(v) = \frac{1}{\sigma_{k-1} + v} \left\{ \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i B_i(v + (\sigma_{k-1} + v)) \cdot (1 - h_{k-1}(v)) + \sigma_{\Phi}(v) \right\} \quad (5)$$

$B_i(v)$ – ПЛС ФР времени обслуживания для i -го приоритета

$$B_i(v) = \int_0^{\infty} e^{-vt} dB_i(t) \quad (6)$$

$$B_i(t) = \begin{cases} 0, & t < t_i \\ 1, & t \geq t_i \end{cases} \quad (7)$$

где

$$t_i = \frac{L_i + H_i}{C_M} \quad (8)$$

L_i, H_i – объем информационной и служебной части пакетов i -го приоритета соответственно; C_M – скорость модуляции в цифровом канале связи.

Таким образом, на базе известных ФР времени передачи и времени ожидания с помощью ПЛС получены математические модели приоритетного обслуживания разнородного трафика в звене передачи сети NGN, учитывающие специфику передаваемых пакетов информации.

Полученные модели позволяют учитывать широкий набор факторов:

- многомерный входящий поток пакетов;
- комбинированную приоритетную процедуру обслуживания пакетов речевой информации, данных и других потоков информации;
- надежность характеристики сети;
- времени ожидания начала обслуживания в очереди, с учетом отказов звена передачи данных;
- времени обслуживания пакета;

Разработанные математические модели приоритетного обслуживания разнородного трафика в звене передачи телекомму-

никационной сети с различными дисциплинами обслуживания пригодны для расчета параметров сети с произвольным числом приоритетов, также их можно использовать при определении эффективных областей применения приоритетного обслуживания в телекоммуникационной сети.

Литература

1. Назаров А.Н., Сычев К. И. Модели и методы исследования процессов функционирования и оптимизации построения сетей связи следующего поколения, «Электросвязь», №3, 2011 г.
2. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979, - 600 с.
3. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений: Учеб. пособие для вузов / М.Н. Арипов и др. Под ред. Г.П. Захарова. М.: Радио и связь, 1988.
4. Захаров Г.П. Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь, 1982.
5. Захаров Г.П., Симонов М.В. Яновский Г.Г. Службы и архитектура широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания // Технологии электронных коммутаций. Том 41. М.: Экотрендз, 1993.
6. Климов Г.П. Стохастические системы обслуживания. М.: Наука, 1966.
7. Гнеденко Б.В., Даниелян Э.А., и др. Приоритетные системы обслуживания. Изд., МГУ, 1973, с. 439.

УДК 654.154

ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВОЛОКОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Пулатов Ш.У., Исроилов Ж.Д.

Данная статья посвящена анализу физико-химических свойств оптических стекол, применяемых для волоконной оптической линии связи. Рассмотрены особенности применения различных оптических стекол.

Ключевые слова: кварцевое стекло, оптическая система, оптические волокна, инфракрасный диапазон

Ushbu maqola optik tolali aloqa liniyalari uchun ishlatiladigan optik shishalarning fizik-kimyoviy xususiyatlarini tahlil qilshga bag'ishlangan. O'ziga xos xususiyatli turli optik shishalarning qo'lanilishi ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: kvarts shisha, optik tizimi, optik tolalar, infraqizil diapazoni

This article is devoted to the analysis of the physical and chemical properties of optical glasses used for optical fiber communication lines. The features use of Various optical glasses.

Key words: quartz glass, optical system, optical fibers, infrared range

Введение

Наблюдаемый в настоящее время рост масштабов оптоволоконных коммуникационных сетей обуславливает необходимость быстрого развития оптических технологий передачи и

обработки информации в волоконно-оптических системах со спектральным уплотнением каналов. Ключевыми компонентами таких систем являются волоконно-оптические кабели.

Именно успехи в создании таких оптических материалов (новых и совершенствовании уже известных) позволили перейти к построению оптических систем связи.

Основная часть

По строению оптические стекла подразделяют на моно- и поликристаллические стекла, аморфные стекла, жидкокристаллические среды. Природные монокристаллы, например, флюорит CaF_2 , кварц SiO_2 , кальцит CaCO_3 , слюда, каменная соль и др., давно используются в качестве оптических материалов. Кроме того, на практике используют большое количество синтетических монокристаллов, обладающих прозрачностью в различных участках оптического диапазона и имеющих высокую однородность.

Стекланные оптические волокна делаются из кварцевого стекла, но для дальнего инфракрасного диапазона могут использоваться другие материалы, такие как фторцирконат, фторалюминат и халькогенидные стекла. Как и другие стекла, эти имеют показатель преломления около 1,5.

Прозрачное кварцевое стекло содержит 99,99% SiO_2 ; обладает наименьшим среди силикатных стекол показателем преломления ($n_D = 1,4584$). Оптическое прозрачное кварцевое стекло, получаемое плавлением горного хрустала, совершенно однородно и не содержит видимых газовых пузырьков. Кварцевое стекло – хороший диэлектрик, удельная электрическая проводимость при 20 °С достигает 10-14÷10-16 Ом·м-1, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta \sim 0,0025 \div 0,0006$ при температуре 20 °С и частоте 1016 Гц. Дисперсия кварцевого стекла приближённо описывается формулой Селлмеiera:

$$\varepsilon = 1 + \frac{a_1 \lambda^2}{\lambda^2 - l_1^2} + \frac{a_2 \lambda^2}{\lambda^2 - l_2^2} + \frac{a_3 \lambda^2}{\lambda^2 - l_3^2}$$

где, $a_1=0,69616630$, $l_1=0,068404300$, $a_2=0,40794260$, $l_2=0,11624140$, $a_3=0,89747940$, $l_3=9,8961610$ и длина волны λ задается в микрометрах [1]. Прозрачное кварцевое стекло применяют для изготовления: устройств ультрафиолетовой и инфракрасной оптики (линзы, лампы, трубки излучения), лабораторных приборов, аппаратуры для радиотехники и радиоэлектроники, стеклянных волокон и др. Обладает значительной термостойкостью, огнеупорностью, высокой химической стойкостью к воздействию щелочей и кислот (кроме HF и H3PO4 при температуре >300 0C), радиационной стойкостью (Табл.1)[2].

Таблица 1
Основные параметры кварцевого (SiO_2) стекла

Традиционные названия	Плавный (аморфный) кварц
Плотность	$\sim 2,20 * 10^3 \text{ кг/м}^3$
Предел прочности	50 Н/мм ²
Примеси	10-1000 ppm
Температура кипения	2230 °С
Теплопроводность	1,38 Вт/(м·К)
Коэффициент теплового расширения	$0,54 * 10^6$
Температура размягчения	1400 °
Диапазон прозрачности	160-3500 нм
Показатель преломления	1,46
Угол Брюстера	55,58 °

Достоинства кварца в оптических устройствах:

кварц может быть использован в волокнах при относительно высоких температурах и имеет довольно широкий диапазон стеклообразования;

волокну кварца имеет высокую механическую прочность на разрыв при растяжении и изгиб;

кварц химически инертен;

не является гигроскопическим (не поглощает воду).

Стекло кварца может легироваться различными материалами. Цель легирования состоит в том, чтобы:

1) увеличить коэффициент преломления (например, с диоксидом германия (GeO_2) или окисью алюминия (Al_2O_3), или, наоборот),

2) понизить коэффициент преломления (например, смешение с фтором или с трёхокисью бора (B_2O_3)).

Стёкла из кварцевого стекла не мешают даже загорать, характеризуются малым поглощением света (обычное оконное стекло поглощает столько же света, сколько и кварцевое стекло толщиной в 100 метров), высокой оптической однородностью, стойкостью к ионизирующим и лазерным излучениям высокой интенсивности, низким коэффициентом температурного расширения (примерно в 20 раз меньше по сравнению с обычным стеклом), высокой рабочей температурой (более 1200 0C, что примерно в 4 раза больше, чем для обычного стекла). Это обуславливает широкое применение кварцевого стекла в оптике.

Исторически оптические стёкла состояли почти исключительно из кремнезёма в соединении с окислами натрия, калия, кальция и свинца. Для таких стёкол существует функциональная зависимость между показателями преломления n и коэффициентами средней дисперсии ν_D . С возрастанием показателя преломления коэффициент дисперсии, как правило, уменьшался.

Были выделены два основных типа оптических стёкол: *кроны* (стёкла с низким показателем

преломления и высоким значением коэффициента дисперсии) и *флинты* (стёкла с низким значением коэффициента дисперсии и высоким показателем преломления). При этом к группе кронов относились натриевосиликатные стекла, а к группе флинтов – стёкла содержащие свинец.

В дальнейшем, в связи с ростом числа оптических стёкол, потребовалось выделить лёгкие (ЛК), тяжёлые (ТК) и сверхтяжёлые кроны (СТК), а для флинтов – лёгкие (ЛФ), тяжёлые (ТФ) и сверхтяжёлые флинты (СТФ)[2].

К стеклу, которое используются для ВОЛС, предъявляется целый комплекс требований. Их выполнение возможно при одновременном сочетании в стекле целого ряда свойств. В связи с этим оптическое стекло делится на несколько групп.

Оптическое бесцветное стекло. Группа этих стекол, разнообразных по двум основным параметрам – показателю преломления и коэффициенту дисперсии – служит для построения всей рефракционной оптики. Большое количество марок (эта группа насчитывает около 150 различных марок) стекла с различными комбинациями n_D и v_c позволяет строить объективы, исправленные относительно хроматических и других aberrаций.

Оптическое цветное стекло. Основной нормируемой характеристикой здесь является спектр поглощения в видимой области. Эти стекла используются в качестве фильтров для выделения той или иной области спектра.

Оптические активированные стекла. В эти стекла включаются специальные добавки элементов, придающих стеклу определенные спектрально люминесцентные характеристики. Среди таких добавок можно встретить переходные металлы и лантаноиды, с помощью которых получают стекла с узкими полосами люминесценции, необходимыми для генерации света в стекле лазера.

Оптические стекла, прозрачные в особых областях спектра. Сюда относятся халькогенидные стекла, прозрачные в области 1,0–25 мкм. Эти стекла замечательны тем, что в их состав в достаточно большом количестве входят такие металлы, как германий и мышьяк.

Специальные оптические стекла. Особые спектральные характеристики этих стекол зависят от облучения светом и особых магнитооптических свойств.

По своему химическому составу стекла делятся на два основных класса: оксидные и бескислородные стекла.

Оксидные стекла представляют собой широкий класс оптических материалов, в котором наиболее важное место занимают *силикатные, фосфатные и германатные* стекла. В этих стеклах основой является соответственно молекулы SiO_2 , P_2O_5 и GeO_2 , а в качестве добавок, определяющих свойства стекла используются оксиды металлов: Na, K, B, Al, Ba, Zn и др. Достоинствами оксидных стекол являются их низкая

стоимость, высокое оптическое качество, химическая устойчивость и механическая прочность. Оксидные стекла используют в качестве основы для создания оптических ситаллов и композитных материалов. В этом случае в стекла внедряются полупроводниковые, диэлектрические или металлические наночастицы. Легирование оксидных стекол ионами редкоземельных металлов позволяет получать активные среды для лазеров и усилителей, а также стекла с ярко выраженными магнитооптическими свойствами. Оксидные стекла изготавливают высокотемпературной варкой из шихты, вакуумным нанесением и зольгель методом. Для изменения оптических свойств тонких слоев оксидных стекол используются методы диффузии и ионного обмена [3-5].

К бескислородным стеклам относятся халькогенидные и галогенидные стекла.

Основу халькогенидных стекол составляют сульфиды, селениды и теллуриды мышьяка и германия. Особенностью данного класса стекол является их высокий показатель преломления ($n = 2-3$) и прозрачность в среднем ИК диапазоне. На основе халькогенидных стекол создают оптические волноводы, волноводные голограммы, акустооптические и нелинейно-оптические устройства для интегральной оптики.

К галогенидным стеклам, в основном относятся фторидные и хлоридные стекла. Примерами фторидных стекол являются фтороцирконатные стекла имеющие состав: $ZrF_4-BaF_2-LaF_3-AlF_3-NaF$, а также фтороиндиевые стекла состава: $BaF_2-InF_3-GaF_3-LaF_3-GdF_3$. Такие стекла, легированные ионами редкоземельных металлов применяются для создания волноводных усилителей и конвертеров для преобразования ИК излучения в видимое.

Применение оптических стекол сильно зависит от физико-химических свойств и оптических параметров.

Из большинства видов стекол самым низким поглощением в видимой и ближней инфракрасной области спектра обладает плавный кварц – при условии высокой степени очистки и гомогенности. Значительные преимущества кварца обусловлены малыми внутренними потерями на рассеивание. Для оптических волокон (ОВ) из плавленого кварца самое низкое значение поглощения составляет: 1,9 дБ/км – на длине волны 0,85 мкм; 0,291 дБ/км – на длине волны 1,3 мкм; 0,154 дБ/км – на длине волны 1,55 мкм. Высокая температура плавления кварца, с одной стороны, требует специальной технологии для изготовления оптического волокна (ОВ), а с другой – помогает избавиться от различных примесей, которые испаряются в процессе плавления за счет диффузии уже при более низких температурах.

Стекла, применяемые для изготовления световодов (сердцевины и оптической оболочки), различаются показателями преломления n . При добавлении оксида бора может быть снижен по-

казатель преломления, длительный отжиг боросиликатного стекла приводит к увеличению n . Другой способ понизить показатель преломления плавленого кварца – добавить в него фтор. В отличие от метастабильного характера изменения этого показателя у чистого боросиликата, снижение его у боросиликатного стекла с добавкой фтора – внутреннее свойство атомов фтора в матрице SiO_2 . Разность показателей преломления чистого SiO_2 и материала с добавкой фтора увеличивается линейно с повышением молярной концентрации фтора до нескольких процентов. При этом оптические свойства кварца не ухудшаются. Фторирование кварца позволяет уменьшить рассеивание Рэлея и минимизировать волновые потери. Однако легирование фтором увеличивает вероятность возникновения трещин и уменьшает прочность стекла.

Все другие добавки окислов к плавленому кварцу (GeO_2 , P_2O_5 , TiO_2 , Al_2O_3 , Sb_2O_3) приводят к увеличению показателя преломления по сравнению с чистым кварцем без заметного ухудшения его оптических свойств. Молярные доли этих оксидов в кварце могут меняться в пределах от 1 до 15%. Показатель преломления увеличивается на 0,001 при увеличении молярной доли оксида германия GeO_2 на 1%. Кварц с добавкой германия, который может быть использован в качестве материала сердцевины оптического волокна, имеет широкое окно прозрачности вплоть до 1,7 мкм [3-5].

Анализ исследований

Для формирования многокомпонентных ОВ необходимо подобрать пару стекол для сердцевины и оптической оболочки, которые удовлетворяли бы следующим требованиям:

- минимум диффузионных процессов на границе раздела пары стекол, что достигается путем уравнивания их состава по роду и концентрации щелочных оксидов. Это позволяет максимально сохранить исходные значения показателя преломления каждого стекла из пары и ожидаемой числовой апертуры световода;

- максимальная совместимость пары стекол, когда на границе их раздела при вытягивании волокна и возможных последующих термообработках не возникают новообразования, газовые пузырьки и ликвация;

- низкотемпературное плавление при 1250-1350 °С высококачественной гомогенной шихты в тигле из чистого кварцевого стекла при минимальном его растворении расплавом, особенно стекла сердцевины.

Таким образом, в большинстве случаев предпочтительно применять кварцевые стекла с высокой степенью чистоты двуокиси кремния. Стекла для оптических волокон в ИК области должны обладать минимальными потерями в этом диапазоне длин волн. Спектральные характеристики потерь различных типов стекол

показывают, что минимум потерь приходится на область между длинами волн собственного УФ и ИК поглощения.

Использование волн ИК диапазона для оптических волокон приводит к уменьшению рэлеевских потерь, что в свою очередь позволяет значительно увеличить дальность передачи и улучшить экономические показатели оптических систем связи. Для этого предлагается заменить кварцевые стекла, работающие на длинах волн до 1,7 мкм, на стекла, легированные германием и содержащие добавки Bi_2O_3 , Ti_2O , PbO . Например, для германиевых стекол: плотность (5,4-7,66) г/см³, ТКЛР = (10,6÷5,9)·10⁻⁶ С⁻¹, $n = 1,9394 \div 2,2855$, дисперсия равна нулю в диапазоне $\lambda = 2,08 \div 2,81$ мкм и минимальные потери менее 0,1 дБ/км [6,7].

Халькогенидные стеклообразные полу-проводники изготавливают на основе элементов Ge, P, As, Sb, S, Se, Te. В состав входят халькогены VI группы периодической таблицы Менделеева. Типичные представители – сульфид и селенид мышьяка. Типичные композиции: GeS, GeSe, AsS, AsSe, GeSP, GeAsSe, GeSeTe, AsSeTe, GeAsSeTe и др.

Халькогенидные стекла обладают высокой прозрачностью в ИК области спектра от 1 до 18 мкм. Для стекла As₂S материальная дисперсия равна нулю на длине волны 4,85 мкм. Для стекол на основе AsS и AsSe область, в которой материальная дисперсия равна нулю, находится в диапазоне длины волны 46 мкм. Теоретически ожидаемые минимальные оптические потери для этих стекол в области прозрачности материала, а также с учетом потерь на рэлеевское рассеивание составляют (2-3)·10⁻² дБ/км. Халькогенидные стекла на основе GePS могут иметь потери порядка (10-1÷10-2) дБ/км на длине волны 5,5 мкм [6,7].

Показатель преломления для As₂Se₃ на длине волны 5 мкм $n = 2,481$, а для As₂S₃ $n = 2,406$. При этом соотношение показателей преломления As₂Se₃ и As₂S₃ в области длин волн 2÷12 мкм остается примерно равным. Модуль Юнга халькогенидных стекол ~ 20÷41 ГПа. Близкие значения ТКЛР селенида и сульфида мышьяка и отмеченные выше свойства показателей преломления могут быть применены при изготовлении ОВ, в которых один из материалов используется в качестве сердцевины, а другой – оптической оболочки.

Заключение

Выше рассмотрены некоторые важнейшие физико-химические свойства оптических стекол, предназначенных для оптических линий связи. Из этого анализа можно сделать следующий вывод:

- кварцевое стекло обладает наименьшим среди стекол на основе SiO_2 показателем преломления ($n_D=1,46$) и наибольшим светопропусканием, особенно для ультрафиолетовых лучей;
- основные параметры оптического стекла:

показатель преломления, средняя дисперсия и коэффициент дисперсии;

- оптическое стекло – это прозрачное стекло специального состава, используемое для изготовления оптических приборов. От обычного технического оптического стекла отличаются особенно высокой прозрачностью, чистотой, бесцветностью, однородностью, а также строго нормированными параметрами преломляющей способности и дисперсии.

- световоды на основе фторидов тяжелых металлов наиболее перспективны по уровню оптических потерь, меньших, чем лучших кварцевых.

Ясно, что для различных областей применения оптимальными могут быть различные типы стекол с соответствующими свойствами.

Литература

УДК 654.154

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМУЛ ЭРЛАНГА ДЛЯ РАСЧЁТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА

М.Б. Абдужаппарова, С.А. Садчикова

В статье анализируются методики оптимизации и автоматизации процесса проектирования сети доступа на основе оптических технологий. Рассматривается метод расчёта параметров на основе формул Эрланга. Применение формул Эрланга даёт простой и эффективный способ описания основных параметров QoS трафика в сетях доступа NGN.

Мақолада оптик технология асосида оптималлашган усул ва кириш тармоғи лойихалаштирилган автоматик жараён таҳлил қилинган. Хар-қил трафикнинг берилган бир нечта манбадан стохастик назарий иши ва параметрларнинг ҳисоблаш усули Эрланг формуласи асосида қўриб чиқилган. Эрланг формуласини қўллаш NGN тармоқ имконийлигида QoS трафики параметрлари учун оддий ва эффектли усул ҳисобланади.

This article deals with analysis of optimizing and automating methods which are used in access network projecting based on optic technologies. Calculation method based on Erlang formulas is discussed in detail. Using of Erlang formulas give us clear and effective method for QoS traffic description in NGN.

Введение

Широкополосные услуги требуют модернизации сети доступа с введением новых оптиче-

1. Глущенко А.Г. Наноматериалы и нанотехнологии: учебное пособие /А.Г. Глущенко, Е.П.Глущенко. – Самара: ФГОБУВО ПГУТИ, 2017.

2. Глущенко А.Г., Захарченко Е.П. Материалы и технологии интегральной оптики инфокоммуникационных систем (конспект лекций). Самара: ФГОУВПО ПГУТИ. – 2011.

3. А.И. Сидоров, Н.В. Никоноров «Материалы и технологии интегральной оптики». Уч. пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009 г.

4. Ханспердже Р. Интегральная оптика: Теория и технология. – М.: Мир.– 1990.

5. Ярив А. Введение в оптическую электронику. – М.: Высшая школа. – 1983.

6. Волноводная оптоэлектроника /Пер. с англ. /Под ред. Т. Тамира. – М.: Мир. – 1991.

7. Справочник технолога-оптика. Под редакцией Окатова М.А., 2-е издание – СПб.: Политехника. – 2004 г.

ских технологий. Оптические сети доступа содержат оптический кабель, линейные устройства, а также активные сетевые элементы – маршрутизаторы, коммутаторы доступа, DSLAM, которые имеют разную производительность и соответственно, очень большой ценовой разброс.

Существуют 2 группы методик расчёта сети доступа разнородного трафика: теоретические методики и инженерные методики. Теоретический метод позволяет оперативно оценить сетевые параметры участка доступа, которые подлежат дальнейшему уточнению с помощью детальных инженерных методов. Инженерные расчёты позволяют рассчитать необходимое для построения сети доступа количество активного и пассивного оборудования, характеристики сети.

Метод марковских цепей [1,2] является теоретической методикой и требует высоких компьютерных мощностей для вычисления. В [3] обсуждается схема распределения полосы пропускания для доступных сервисов в зависимости от требуемой полосы для их обеспечения. В [4] авторы предлагают n-мерную модель сети доступа на основе bufferless модели Эрланга с потерями.

Одним из последних разработанных методов является метод расчёта параметров сетей доступа на основе применения формул Эрланга. Применение формул Эрланга даёт простой и