

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ СОЕДИНЕНИИ

К. М. Фадеев, Р. С. Пономарев

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

В настоящее время надежность навигационных систем выходит на первый план в развитии гражданской техники, аэрокосмических аппаратов и других транспортных средств. В связи с этим еще с конца прошлого века ученые и инженеры обратили свой взгляд на волоконно-оптические и интегрально-оптические технологии. Навигационные системы с использованием волоконно-оптических гироскопов могут похвастаться широким динамическим диапазоном, малой потребляемой мощностью и высокой степенью надежности.

Однако точность ВОГ не достигает идеальных результатов. ВОГ обладает высокой чувствительностью к внешним воздействиям (например, температура), что создает паразитные дрейфы в виде «кажущейся угловой» скорости. Одним из источников появления дрейфа служит интегрально-оптическая схема (ИОС), где при фиксации волокна используются стыковочные модули (СМ), в которых используются клеевые соединения. Накоплен огромный экспериментальный материал, показывающий, что такая конструкция СМ приводит к снижению степени поляризации и локальному разрушению.

Одной из главных характеристик соединения для ВОГ является коэффициент сохранения поляризации излучения $K_{СПИ}$:

$$K_{СПИ} = 10 \cdot \lg \left(\frac{I_{TE}}{I_{TM}} \right), \quad (1)$$

где I_{TE} – интенсивность излучения с ТЕ-поляризацией, I_{TM} – интенсивность излучения с ТМ-поляризацией. $K_{СПИ}$ измеряется в децибелах. Максимальное значение $K_{СПИ}$ для используемого световода составляет 40 дБ. Соединение считается годным, если при стыковке с чипом интегральной схемы $K_{СПИ}$ выходного излучения составляет не менее 26 дБ, в ином случае соединение считается бракованным (Рис. 1).

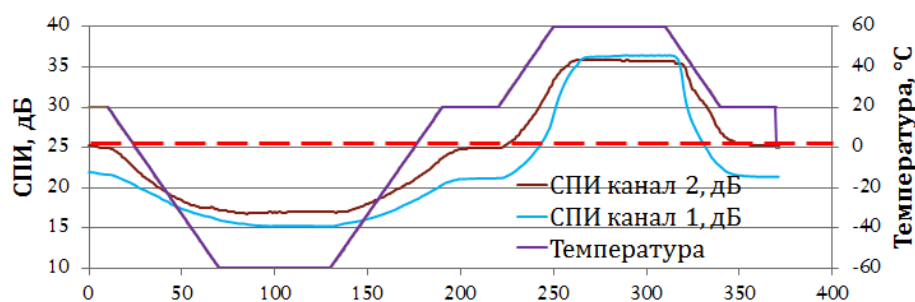


Рис. 1. График зависимости $K_{СПИ}$ от температуры для бракованного ВОГ

Объектом исследования является стыковочный модуль интегрально-оптической схемы.

Предметом исследования является влияние на оптические характеристики волокна, закрепляемого в пазу оптического наконечника, клея при различных температурах и расположении волокна. В работе рассматривается волокно типа «Panda», которое сохраняет поляризацию излучения.

Цель работы – исходя из конструкции СМ и физических явлений в нем, определить возможную причину ухудшения $K_{\text{спн}}$ и дать рекомендации по ее устранению.

Для построения модели был использован программный комплекс COMSOL. COMSOL Multiphysics – программный пакет, предназначенный для конечно-элементного анализа в различных областях физики и инженерного дела, включая рассмотрение связанных (мультифизических) задач.

В модели рассматривается поперечный срез СМ, это означает, что напряжение вдоль волокна равно нулю, в связи с этим было использовано модулирование двумерного СМ.

Геометрическая модель СМ представлена на рисунке 2. Оптический наконечник, выполненный из ниобата лития, имеет паз, внутри которого расположено оптическое волокно, зафиксированное с помощью клея.

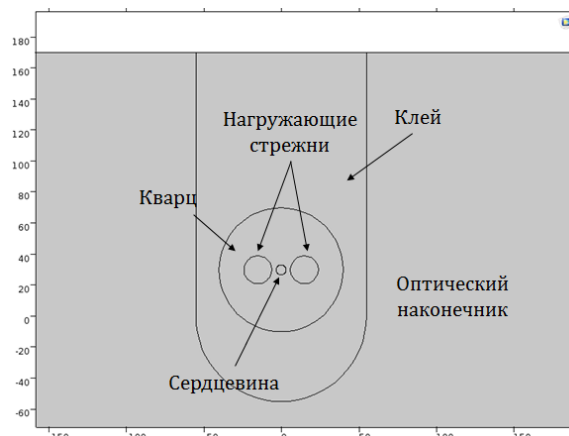


Рис. 2. Геометрическая модель стыковочного модуля

Исходя из рабочих температур стыковочного модуля, в модели проводился виртуальный нагрев до 60 °С и охлаждение до -60 °С. Начальное значение температуры составляло 20 °С. Для упрощения модели нагрев производился мгновенно и равномерно.

Показатель преломления является функцией механических напряжений в кристалле. Изменение показателя преломления, вызываемое механическими напряжениями, называется фотоупругостью [1].

Анизотропия показателя преломления в поперечном сечении волновода достигается вследствие эффекта фотоупругости и различия величин

механических напряжений σ_{xx} σ_{yy} , вдоль поперечных осей x , y оптоволокна. Для световых волн, линейно-поляризованных вдоль осей x , y показатели преломления n_x , n_y сердцевинны волокна равны:

$$n_x = n - \frac{n^3}{2} p_{11} \frac{\sigma_{xx}}{E}, \quad (2)$$

$$n_y = n - \frac{n^3}{2} p_{12} \frac{\sigma_{yy}}{E}; \quad (3)$$

где n – средний показатель преломления сердцевинны, p_{11} , p_{12} – упругооптические коэффициенты, E – модуль Юнга. Упругооптические коэффициенты изотропного кварца равные $p_{11} = 0,27$, $p_{12} = 0,12$ [2].

Двулучепреломление в одномодовых световодах характеризуют разностью постоянных распространения ортогональных поляризационных мод E_x и E_y :

$$\beta = \beta_x - \beta_y = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x - n_y) = \frac{2\pi}{\Lambda}, \quad (4)$$

где λ – длина волны света в вакууме; n_x , n_y – эффективные коэффициенты преломления сердцевинны световода для ортогонально поляризованных мод; Λ – длина поляризационных биений. Направления плоскости поляризации собственных поляризационных мод, ортогональные друг другу, часто называют осями двулучепреломления световода.

Полученные при моделировании компоненты тензора напряжения σ_{xx} и σ_{yy} были подставлены в формулы 2 и 3, для вычисления ПП сердцевинны волокна вдоль линейно поляризованных осей x и y .

Вследствие разности КЛТР волоконного световода и клея, при изменении температуры, клей оказывает гидростатическое давление на волокно. В связи с этим в сердцевинне появится дополнительное напряжение, которое может уменьшить $K_{СПИ}$ стыковочного модуля. Было смоделировано поведение СМ при температурах от -60 °С до 20 °С с шагом в 10 °С (Рис. 3).

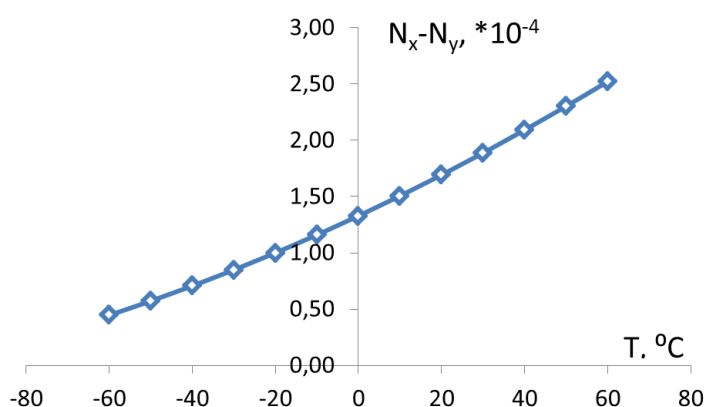


Рис. 3. Зависимость профиля показателя преломления от температуры (при центральном положении)

Исходя из полученных значений, можно сделать вывод, что при изменении температуры от 20 °С до 60 °С или -60 °С двулучепреломление изменяется на 25-35 %.

Второй возможной причиной ухудшения $K_{СПИ}$ является ошибка оператора, при которой может быть смещение сердцевины волокна относительно центрального положения. Было смоделировано смещение волокна, как по горизонтальной, так и по вертикальной оси.

Значение разниц напряжений, так же как и в предыдущем случае, было переведено в разницу ПП n_x-n_y . Смещение рассматривалось при различных температурах (Рис. 4 и Рис. 5).

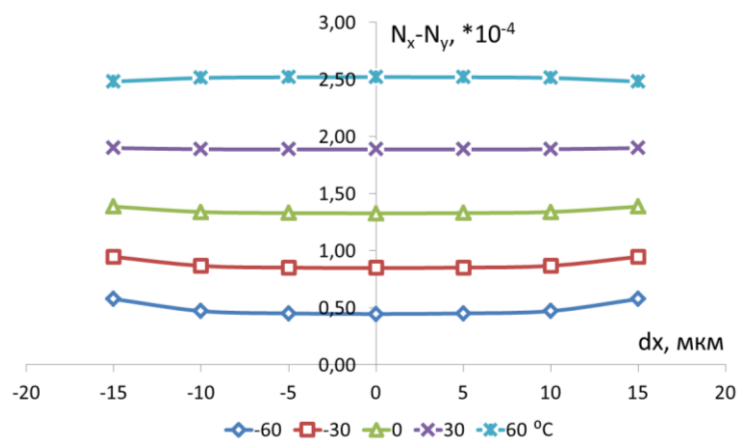


Рис. 4. Зависимость профиля показателя преломления от смещения оптического волокна относительно центрального положения по горизонтали и температуры

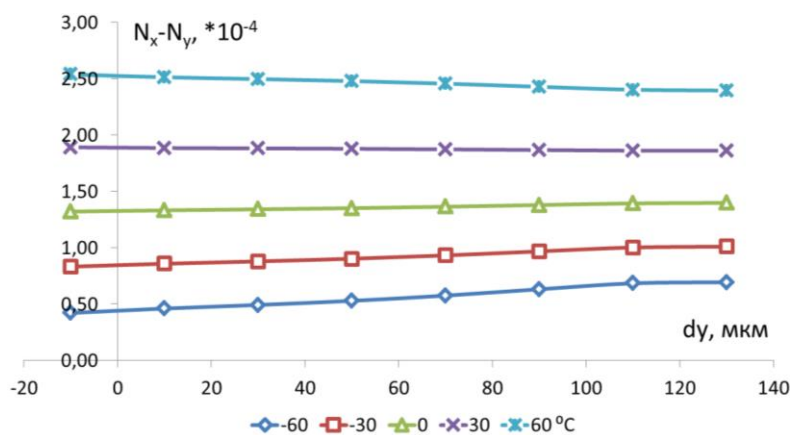


Рис. 5. Зависимость профиля показателя преломления от смещения оптического волокна относительно центрального положения по вертикали и температуры

На основе полученных данных можно сделать вывод, что при смещении волокна происходит изменение профиля ПП на 5-15%.

Для расширения допустимого интервала рабочих температур можно рекомендовать использовать клей с более низким коэффициентом температурного расширения, идеальным клеем можно назвать какую-либо

стеклообразную смесь, либо применять специальные наполнители, уменьшающие суммарный коэффициент температурного расширения смеси.

Работа выполнена в рамках проекта № 02.G25.31.0113 «Разработка базовой технологии и создание производства фотонных интегральных схем для приборов, систем и комплексов оптоэлектронного навигационного приборостроения», реализуемого АО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» совместно с ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

1. *Най Дж.* Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц. М.: Издательство иностранной литературы, 1960. 376 с.
2. *Дмитриев А. Л.* Оптические системы передачи информации: учеб. пособие / СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 96 с.