بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و ساخت تزویج گر فیبر نوری جهتی به روش جوش با استفاده از لیزر CO_2

فرهاد حیدری، علیرضا عرفان، روح اله محمدی، محمد حسن زادهوش، حسن احساندوست، محمد سجادی ، علی صالحی،
محمد رضا جلیلوند و مهران دزفولی

چکیده - در این مقاله از یک روش ساده برای ساخت و بهبود تقارن فیبرهای نوری کمر باریک شده و تزویج‌گرهای جهتی جوش با استفاده از لیزر CO_2 استفاده شده است. گرمای یکنواخت توزیع شده بر روی فیبر با استفاده از جاروب کردن پرتو لیزر توسط آیینه گالوانومتر به دست می‌آید که گرمای یکنواختی در طول ناحیه HZ بر روی فیبرهای نوری به طور همزمان ایجاد می‌کند. با استفاده از شرایط بی‌دررو (آدیاباتیک) فیبرهای نوری کمر باریک شده و تزویج‌گرهای جوش با تقارن بالا و افت پایین به دست می‌آیند.

کلید واژه- لیزر CO_2، فیبر نوری کمر باریک شده ، تزویج‌گر فیبر جوش جهتی ، آیینه گالوانومتر ، شرایط بی‌دررو

Design and Fabrication of Fused Optical Fiber Directional Coupler Using CO_2 Laser

Farhad Heydari, Alireza Erfan, Rohollah Mohammadi, Mohammad Hasan Zadhush, Hasan Ehsandust,
Mohammad Sajadi, Ali Salehi, Mohammad Reza Jalilvand and Mehran Dezfuli

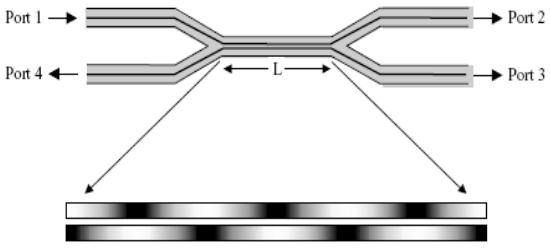
Abstract- **This paper presents a simple technique improving the symmetry of tapered fibers and fused directional fiber coupler with a CO_2 laser. The uniform heat distribution inside an optical fiber is achieved by using a scanning spot laser beam implementing a galvanometer mirror which applies uniform heat on HZ length of the optical fibers simultaneously. Highly symmetric and low loss tapers and fused couplers are achieved by using an adiabatic criteria.**

Keywords: **CO_2 laser, tapered fiber, fused directional fiber coupler, galvanometer mirror, adiabatic criteria**

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

تزویج‌گرهای فیبر نوری از اهمیت خاصی در کاربردهای فیبری نظیر سیستم های ارتباط داده با سرعت بالا، سیستم‌های تقسیم و تسهیم کننده، سیستم‌های انتقال همدوس، سنسورهای فیبری و سیستم‌های اندازه گیری فیبرهای نوری برخوردار است. به طور کلی از تزویج‌گر فیبر نوری می‌توان به عنوان یک انشعاب فیبر نوری برای متصل کننده و جداکننده نور استفاده کرد. در تزویج گرهای فیبر نوری انتقال نور بین دو هسته‌ی فیبر مجاور به هم می‌تواند از طریق فرایندی به نام جفت شدگی میدان‌های محوشونده انجام پذیرد. زمانی که هسته های دو فیبر نوری در فاصله‌ی خیلی نزدیک نسبت به هم قرار بگیرند، میدان های محوشونده با خارج شدن از هسته‌ی یکی از فیبرها و انتقال به درون هسته‌ی فیبر دیگر عمل انتقال نور بین دو فیبر را انجام می‌دهند. انتقال نور بین دو هسته‌ی فیبرهای نوری می‌تواند به صورت جزیی یا کلی صورت پذیرد. درصورتی که انتقال نور در طول جفت شدگی انجام شود کل نور بین دو فیبر انتقال می‌یابد. در فواصل بیشتراز طول جفت شدگی تبادل نور و انرژی بین دو فیبر به صورت دوره‌ای تکرار می‌شود.



شکل ۱: تبادل انرژی در تزویج‌گر فیبر نوری به صورت دوره ای

طول جفت شدگی به صورت رابطه‌ی

$$L_C = \frac{\pi}{2k} \qquad (۱)$$

است که در رابطه‌ی (۱) k ضریب جفت شدگی است. ضریب جفت شدگی کمیتی است که میزان قدرت جفت شدگی نور را بین دو فیبر نوری نشان می‌دهد. به طور کلی ضریب جفت شدگی بیان گر میزان انتقال توان نوری بر واحد طول کشش تزویج گر است. k متناسب است با اختلاف بین ثوابت انتشار ویژه مدهای زوج و فرد که به وسیله‌ی رابطه

$$k = \frac{\pi}{\beta_e - \beta_o} \qquad (۲)$$

بیان می‌شود[1].

مقدار ضریب جفت شدگی به ضریب شکست و شکل هندسی ساختار تشکیل دهنده‌ی فیبر نوری وابسته است و از آنجایی که ثوابت انشار مدهای انتشاری در فیبرهای نوری به طول موج نور عبوری وابسته است k نیز به طول موج وابسته است. توان انتقالی بهنجار جفت شده بین دو فیبر با مدهای هدایتی یکسان، موازی و بدون افت به صورت رابطه‌های

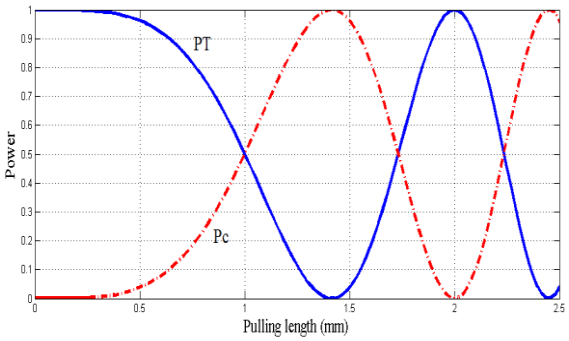
$$P_T(z) = \cos^2(kz) \qquad (۳)$$

$$P_C(z) = \sin^2(kz) \qquad (۴)$$

است که رابطه‌ی kz به صورت

$$kz = \int_0^z C(z)dz \qquad (۵)$$

است[2].



شکل ۲: تغییرات توان نوری تزویج‌گر بر اساس طول کشش

در روابط (۳) و (۴) z برابر با $z = \frac{\pi}{2k}$ است. با توجه به روابط (۳) و (۴) و مقدار $kz = \frac{\pi}{4}$ می‌توان گفت نیمی از توان نور در فیبر اول به فیبر مجاور انتقال پیدا کرده است و در نهایت به تزویج گر ساخته شده، تزویج گر ۳dB گفته می‌شود. برای کاهش افت توان در تزویج‌گر فیبر نوری و بهینه کردن شکل مخروطی تزویج‌گر فیبر نوری و همینطور فیبر نوری باریک شده باید شرایط بی‌دررو (آدیاباتیک) را اعمال کرد. برای برقراری شرایط بی‌دررو

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

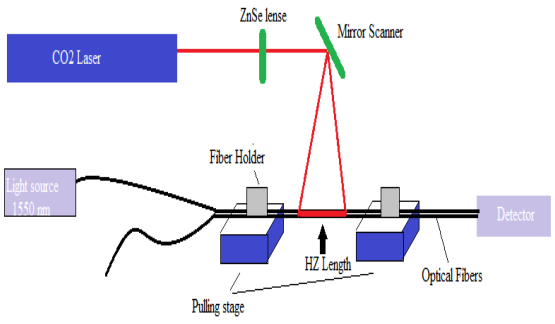
بودن باید زاویه باریک شدگی تزویج‌گر در رابطه‌ی

$$\Omega(z) = a(\beta_1 - \beta_2)/2\pi \qquad (۶)$$

صدق کند[3]. اگر شرایط بی‌دررو برقرار نباشد افت توان نوری در تزویج‌گر به دلیل زنش بین مد پایه و مدهای بالاتر افزایش می‌یابد.

۲- روش ساخت

تزویج گرهای فیبر نوری معمولا به روش گرم کردن و کشیدن ناحیه‌ی جفت شدگی ((Hot Zone (HZ) تا زمانی که درصد جفت شدگی مورد نظر برقرار شود ساخته می-شوند. البته در اکثر روش‌های ساخت تزویج‌گر فیبرها پس از پیچش به دور هم جوش داده می‌شوند. در این مقاله بر خلاف روش‌های معمول فیبرهای نوری را بدون پیچاندن به دور هم در تماس با هم قرار داده و سپس با استفاده از لیزر CO_2 به عنوان منبع گرما فیبرهای نوری را به هم جوش خواهیم داد. روش کار مطابق با شکل (۱) ابتدا ناحیه HZ بر روی فیبرهای نوری را توسط جاروب کردن پرتو کانونی شده لیزر CO_2 به وسیله‌ی چرخش آیینه گرم خواهیم کرد و همزمان فیبرهای نوری گرم شده را توسط فک های کششی در دو جهت مخالف و با سرعت ثابت خواهیم کشید. پرتو لیزر به وسیله‌ی لنز روی سلنید (ZnSe) با فاصله‌ی کانونی ۲۰cm بر روی فیبرهای نوری کانونی خواهد شد (پهنای ۷۰۰ میکرون). چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: چیدمان آزمایشگاهی ساخت تزویج‌گر فیبر نوری به روش جوش با استفاده از لیزر co_2

انتخاب لیزر CO_2 به عنوان منبع گرما به دلیل تمیزتر بودن کار با آن، پاسخ دهی بالا و قابلیت کنترل بیشتر بر روی فرایند ساخت تزویج‌گر و فیبر نوری باریک شده به دلیل پهنای کم پرتو لیزر بر روی فیبرهای نوری در فاصله کانونی است.

۲-۱- آماده سازی و فرایند ساخت

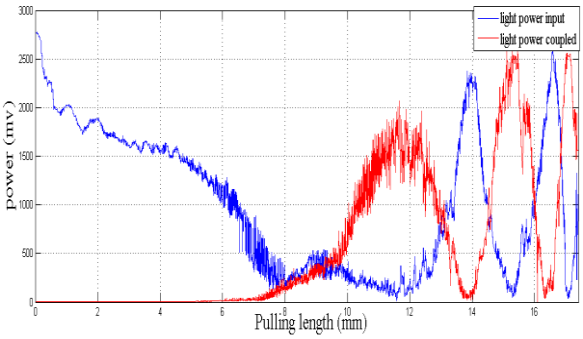
برای آماده سازی چیدمان ابتدا پوشش فیبرهای نوری را به اندازه‌ی که بین دو فک نگهدارنده‌ی فیبرها قرار بگیرد برداشته و سپس ناحیه مورد نظر را کاملا تمیز کرده (هرگونه آلودگی بر روی فیبرها باعث افت توان نوری خواهد شد). بعد از قرار دادن فیبرها درون فک های نگه دارنده، فیبرها را تحت یک کشش اولیه قرار می‌دهیم. ورودی یکی از فیبرها را به منبع نور متصل کرده (منبع نور با طول موج ۱۵۵۰ نانومتر) و انتهای دیگر فیبرها را به آشکارساز متصل خواهیم کرد. در ادامه با تنظیم توان لیزر، فرایند را با روشن کردن لیزر شروع کرده. در ابتدا با افزایش توان لیزر بر روی فیبرها در ناحیه HZ فیبرها نرم می‌شوند (سیلیکا اصولا ذوب نمی‌شود و وقتی در معرض گرما قرار می‌گیرد چسبندگی آن با افزایش دما به طور نمایی کاهش پیدا می‌کند با کاهش چسبندگی نیروی کشش سطحی فیبرها افزایش پیدا می‌کند که باعث در هم فرورفتگی غلاف های فیبرها در هم می‌شود) و به نقطه نرم شدگی می‌رسند (چسبندگی پایین) در این حالت فیبرها آماده‌ی کشش هستند و فک های کششی شروع به کشش فیبر خواهند کرد.. بعد از جفت شدن توان در هر دو فیبر و رسیدن به درصد جفت شدگی مورد نظر فرایند را متوقف خواهیم کرد.

۲-۲- نتایج تجربی

در این قسمت به نتایج تجربی تزویج‌گر ساخته شده به روش جوش لیزری خواهیم پرداخت. در ابتدا به بررسی نمودار توان بر طول کشش خواهیم پرداخت. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌کنید در ابتدای فرایند با افزایش توان لیزر فیبرها نرم شده و توان نوری در فیبر اول دچار افت خواهد شد، در ادامه با رسیدن فیبر به نقطه نرم شدگی فک های کششی شروع به کشیدن فیبرها کرده که با این کار کمی از افت توان نوری می‌کاهد در ادامه با باریک شدن فیبر توان نوری در فیبر دیگر جفت می‌شود و وارد فیبر دوم می‌شود با ادامه این روند تبادل انرژی بین دو فیبر با افزایش کشش به صورت دوره‌ای انجام می‌شود

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

همانند نمودار شکل (۲).



شکل ۴: نمودار تجربی تغییرات توان نوری تزویج‌گر فیبر نوری به روش جوش

با توجه به شکل خط آبی نشان دهنده‌ی توان نوری در فیبری که ابتدا به منبع نور متصل بوده (p_T) و خط قرمز نشان‌دهنده‌ی توان نوری جفت شده (p_C) به فیبر دیگر است. همانطور که مشاهده می‌کنید با افزایش کشش بر روی فیبرها و افزایش توان لیزر، توان نوری در دو فیبر به صورت متناوب انتقال می‌یابد. در طول فرایند ساخت توان های خروجی دو فیبر به صورت لحظه‌ای مانیتور می‌شود و به طور همزمان مقدار توان نوری منتقل شده بین دو فیبر و همچنین افت توان نوری اندازه‌گیری خواهد شد. با توجه به میزان کشش فیبرهای نوری در طول فرایند زمانی که توان نوری خروجی در دو فیبر به درصد جفت شدگی مورد نظر رسیده باشد در این زمان تابش لیزر و همچنین کشش فیبرها متوقف خواهد شد. در ادامه به بررسی افت توان نوری در تزویج‌گر ساخته شده خواهیم پرداخت. ابتدا به شرح انواع افت در تزویج گر خواهیم پرداخت:

اتلاف اضافی (Excess Loss) که به صورت

$$EL = -10\log(\frac{p_T + p_C}{p_I}) \qquad (۷)$$

بیان می‌شود و افت الحاقی (Insertion Loss) که به صورت

$$IL = -10\log(\frac{p_C}{p_I}) \qquad (۸)$$

بیان می‌شود[4]. در معادلات (۷) و (۸) p_I برابر است با توان کل ورودی و p_T و p_C به ترتیب توان بازمانده در فیبر اول (فیبری که به منبع نور متصل بوده است) و توان جفت شده در فیبر دوم است. با توجه به نمودار شکل (۴) :

جدول ۱: پارامترهای تجربی مشخصه تزویج‌گر فیبر نوری

Value	Parameter
۲۸۶۵	نور ورودی (P_I (mv))
۱۲۵۰	P_T (mv)
۱۳۳۰	P_C (mv)
۰.۴۵	افت اضافی توان کل خروجی (EL (dB))
۳.۶	افت الحاقی در پورت T (IL_T (dB))
۳.۳	افت الحاقی در پورت C (IL_C (dB))

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله ساخت تزویج‌گر فیبر نوری به روش جوش با توجه به عدم پیچش فیبرهای نوری به یکدیگر این امکان را می‌دهد که ساخت تزویج‌گر را برای انواع فیبرهای دیگر از قبیل فیبرهای ثابت نگهدارنده‌ی قطبشی (PM) بکار برد. از طرفی با استفاده از لیزر به عنوان منبع گرما می‌توان طول ناحیه HZ را کنترل کرد و هر طولی را با توجه به افت مورد نیاز در نظر گرفت که در نهایت به کوچک شدن طول تزویج‌گر فیبر نوری منجر خواهد شد.

مراجع

[1] Katsunari Okamoto, *Fundamentals of Optical Waveguide*, p. 178-181, 2nd Edition, Academic Press, 2006
[2] Jian Xu, Bin Mu and Xin-guo Zhou, *Study of an Ultrahigh Sensitivity Coupling Fiber optic Strain Sensor*, **2nd Conference ICICTA**, Changsha Huan, 2009
[3] Samuel Varghese K, *Fabrication and Characterization of All-Fiber Components for Optical Access Network*, ph.D thesis, Cohin University of Science and Technology, 2008
[4] Ajoy Ghatak, K.Thyagarajan, *An Introduction to Fiber Optics*, p. 369, Cambridge University Press, 1997

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]