

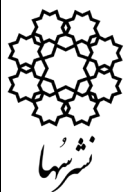
Optical Fiber Technology

Rudiger paschotta

مقدمه ای بر تکنولوژی فیبر نوری

سید علیرضا رسولی - عرفان محمدی - هادی شریفی خیاوی





نویسنده : رودیگر پاشوتا
مترجم : سید علیرضا رسولی، عرفان محمدی، هادی شریفی خیاوی
ویراستار : فرشاد زمهریری نژاد
مدیر هنری : محمدصادق لطفعلیان
صفحه‌آرا و طراح جلد : سید علیرضا رسولی
سرپرست تولید : شوکا شکبیا
ناظر چاپ : علی ممتازی
نوبت چاپ : اول - پاییز ۱۴۰۰
تیراژ : ۵۰۰ جلد
چاپ و صحافی : چاپ سها
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۷۸۷۱-۷۹-۱

عنوان و نام پدیدآور : مقدمه‌ای بر تکنولوژی فیبر نوری / [رودیگر پاشوتا]؛ مترجمان سیدعلیرضا رسولی، عرفان محمدی، هادی شریفی خیاوی
مشخصات نشر : تهران: سها، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری : ۱۰۴ص.: مصور، جدول.
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۷۸۷۱-۷۹-۱
وضعیت فهرست‌نویسی : فیبا
موضوع : الیاف نوری
موضوع : Optical fibers
رده‌بندی کنگره : QC۴۴۸
رده‌بندی دیویی : ۳۶۹۲/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی : ۸۶۸۶۱۷۰



- دفتر مرکزی: تهران، امیرآباد شمالی، بالاتر از چهارراه جلال آل احمد
 - دفتر فروش: تهران، ستارخان، دربان نو، خیابان سروش یکم، پلاک ۴۸، طبقه سوم
 - چاپخانه: تهران، میدان انقلاب، کوچه رشتچی، پلاک ۳۸
- تلفن: ۸۸۰۰۵۵۷۳
تلفن: ۶۶۰۱۸۱۸
تلفن: ۶۶۵۷۳۹۹۳

فهرست مطالب:

- 1- اصل هدایت موج
- 2- انتشار موج در فیبر
- 3- محاسبه حالت های فیبر
- 4- تجزیه به حالت
- 6- نوع حالت فیبر
- 7- حالت روکش
- 8- مرحله به مرحله فیبر
- 9- فیبر تک حالت
- 10- تعداد فیبر تک حالت
- 11- دیافراگم عددی فیبر تک حالت
- 12- منطقه موثر
- 14- فیبر چند حالت
- 17- فیبر شیشه ای
- 18- فیبرشیشه ای غیر سیلیس
- 19- نانو فیبر
- 20- فیبر پلاستیکی نوری
- 21- منشا تلفات انتشار
- 22- از بین رفتن فیبرسیلیس
- 23- ضرر خم

- 24- پراکندگی رنگی
- 29- اثر انعطاف پذیری و قطبش
- 30- فیبر نگهدارنده قطبش
- 32- اثر غیرخطی در فیبر
- 32- بررسی اجمالی در مورد غیرخطی بودن فیبر
- 33- غیرخطی بودن اثر کر
- 34- مدولاسیون خود فاز
- 36- تعداد غیرخطی بودن فیبر
- 37- فاز سالیتون
- 39- فشار فشرده سازی خطی
- 40- فشرده سازی فاز غیرخطی
- 43- مدولاسیون فاز متقابل
- 44- ترکیب چهار موج
- 45- تقویت پارامتری
- 46- پراکندگی رامان
- 48- پراکندگی بریلوئین
- 49- فیبر غیرفعال برای انتقال داده
- 50- بهینه سازی فیبر مخابرات
- 51- در نظر گرفتن پراکندگی رنگی
- 52- جبران پراکندگی

53- استاندارد مهم برای فیبر مخابرات

54- پراکندگی حالت قطبش

55- فیبر کریستال فوتونیک

55- مقدمه ای بر الیاف کریستال فوتونیک

56- راهنمایی براساس میانگین ضریب شکست

57- فیبر با سوراخ های بزرگ هوا

58- فیبر فوتونیک Bandgap

59- PCF بی سیم

60- فیبر حالت بزرگ

61- طرح دیگر فیبرهای جامد

62- طرح فیبر کریستال فوتونیک

63- استفاده از فیبر نوری غیرفعال

64- تحمل اتصالات برای فیبر کم مصرف

65- راه اندازی نور به فیبر تک حالت

66- پایان آماده سازی فیبر

67- اتصال فیوژن

68- اتصالات فیبر

69- اجزای منفعل فیبر نوری

69- اتصال فیبر

70- توری فیبر براگ

- 72- مقررۀ فارادی همراه با فیبر
 - 73- کنترل کننده قطبش فیبر
 - 74- دستگاه فیبر فعال
 - 74- فیبر نادر در زمین
 - 75- اهمیت شیشه میزبان
 - 76- شیشه میزبان مشترک
 - 77- فیبر دو روکش
 - 79- جذب و پمپ در فیبر دو روکش
 - 80- در پوش انتهایی بدون هسته
 - 81- انتشار خود به خود تقویت شده
 - 83- تقویت کننده فیبر دویی شده اربیم
 - 84- تقویت کننده های دویی شده با نئودیمیم و ایتربیوم
 - 85- تقویت کننده های فیبر با قدرت بالا
 - 86- کسب بهره وری
 - 88- به دست آوردن اشباع
 - 90- موج پیوسته لیزر های فیبری
 - 91- لیزر پرقدرت در برابر MOPA
 - 92- لیزر های فیبر Upconversion
 - 93- لیزر فیبر پالسی
- اصل هدایت موج:

فیبرهای نوری نوع خاصی از راهنمای موج نوری را نشان می دهند. موجبر یک ساختار مادی است که می تواند نور را "هدایت" کند ، یعنی اجازه دهد در حالی که از گسترش آن در یک یا دو بعد جلوگیری می کند ، منتشر شود. فیبر راهنماهای موجی هستند که به صورت دو بعدی هدایت می شوند و می توانند به عنوان لوله های انعطاف پذیر برای نور استفاده شود.

در ساده ترین و متداول ترین حالت ، اثر هدایت موج با استفاده از هسته فیبر با ضریب شکست که کمی بالاتر از روکش اطراف است ، حاصل می شود. ما در ابتدا فیبر شاخص گام را در نظر می گیریم ، جایی که ضریب شکست در هسته فیبر ثابت است .

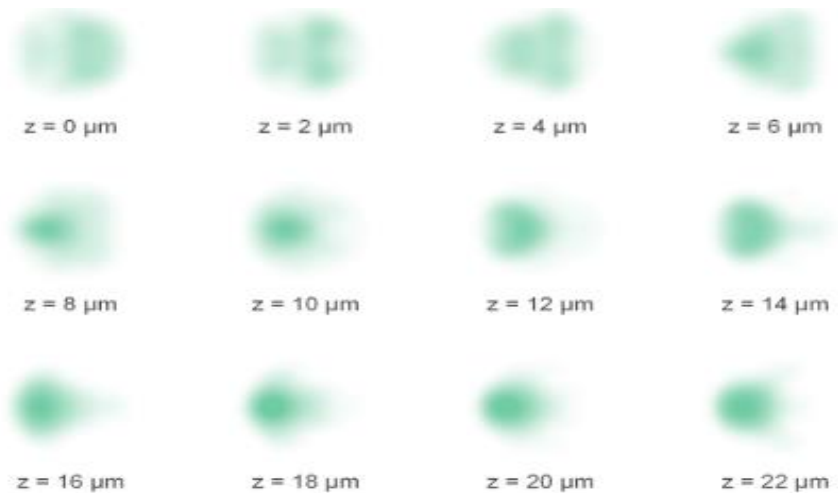


برای یک فیبر شاخص پله ای ، اثر هدایت موج اغلب به عنوان نتیجه انعکاس داخلی کامل پرتوهای نور در رابط هسته روکش اصلی توضیح داده می شود (شکل را ببینید). به راحتی می توان نتیجه گرفت که اگر زاویه پرتو خارجی θ (در هوا) شرایط را برآورده کند ، انعکاس داخلی کامل در رابط رخ می دهد.

$$\sin \theta < NA \equiv \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{cladding}}^2}$$

جایی که NA دیافراگم عددی فیبر نامیده می شود. سپس فیبر می تواند تمام نوری که به ورودی وارد می شود را با زاویه هایی که این شرایط را برآورده می کنند هدایت کند ، که به اندازه هسته بستگی ندارد.

این تصویر کاملاً هندسی نتایج منطقی را برای هسته های بزرگ به ارمغان می آورد ، اما برای هسته های کوچک یک حالت معتبر نیست، جایی که نمی توان ماهیت موج نور را نادیده گرفت.



توصیف دقیق انتشار نور در فیبر نیاز به درمان نور به عنوان یک پدیده موجی دارد. یک روش معمول برای محاسبات عددی، روش انتشار پرتو است. با شروع یک توزیع میدان الکتریکی خاص در یک ورودی، شخص نحوه محاسبه میدان را در فاصله کمی به فیبر محاسبه می کند. با استفاده از مراحل تکثیر بیشتر، می توان توزیع میدان (و توزیع شدت) را در هر جای فیبر محاسبه کرد. به طور کلی، این توزیع می تواند در طول تکثیر تغییرات پیچیده ای داشته باشد. شکل زیر مثالی برای فیبر چند حالت را نشان می دهد.

یک مفهوم بسیار مفید حالت هاست. اینها توزیع های میدان را با خاصیت خاصی نشان می دهند که شکل آنها در جهت عرضی در طول انتشار ثابت می ماند. این توزیع های میدان فقط یک تغییر فاز دارند (که ثابت انتشار است β برابر فاصله انتشار Z ، و یک تغییر قدرت متناسب با $(\exp - \alpha Z)$ که ضریب از دست دادن است. (توجه: ضریب افت موثر ممکن است در یک فیبر تقویت کننده منفی باشد). به طور کلی، هر حالت می تواند مقادیر خاص خود را از α و β داشته باشد. تعداد حالت ها، توزیع میدان آنها و مقادیر α و β آنها به فرکانس نوری یا طول موج λ بستگی دارد.

در اینجا ما به طور خلاصه نحوه محاسبه حالت های فیبر را در مواردی که دو فرض ساده اعمال می شود، بررسی می کنیم: کنتراست شاخص کوچک و ضریب شکست که فقط به شعاع r (فاصله تا محور فیبر) بستگی دارد، اما به زاویه آزیمو تال Φ بستگی ندارد.

اگر یک توزیع میدان $E(r, \varphi, z)$ با یک حالت مطابقت داشته باشد، باید یک وابستگی ساده z داشته باشد، و شکل پروفایل شدت را ثابت نگه میدارد:

$$E(r, \varphi, z) = \Psi(r, \varphi) \exp(i\beta z)$$

با ثابت انتشار β تلفات جذب در اینجا نادیده گرفته شده است. عملکرد میدان عرضی $\Psi(r, \varphi)$ بیشتر تجزیه می شود:

$$\Psi(r, \varphi) = F_{lm}(r) \cos(l\varphi),$$

جایی که l وابستگی آزمونال را توصیف می کند و باید یک عدد صحیح باشد، زیرا این زمینه برای افزایش φ تا 2π باید بدون تغییر بماند. راه حل دیگر به جای $\sin(l\varphi)$ $\cos(l\varphi)$ جایگذاری کنیم. شاخص صحیح دوم m ضروری است، زیرا راه حل های مختلفی برای مقدار معین l می توانند وجود داشته باشند.

با قرار دادن معادله اخیر در معادله موج، یک معادله بدست می آید:

$$F_{lm}''(r) + \frac{F_{lm}'(r)}{r} + \left(n^2(r) k^2 - \frac{l^2}{r^2} - \beta_{lm}^2 \right) F_{lm}(r) = 0,$$

که در آن $k = 2\pi / \lambda$ و اعداد اول مشتقات را با توجه به r نشان می دهد.

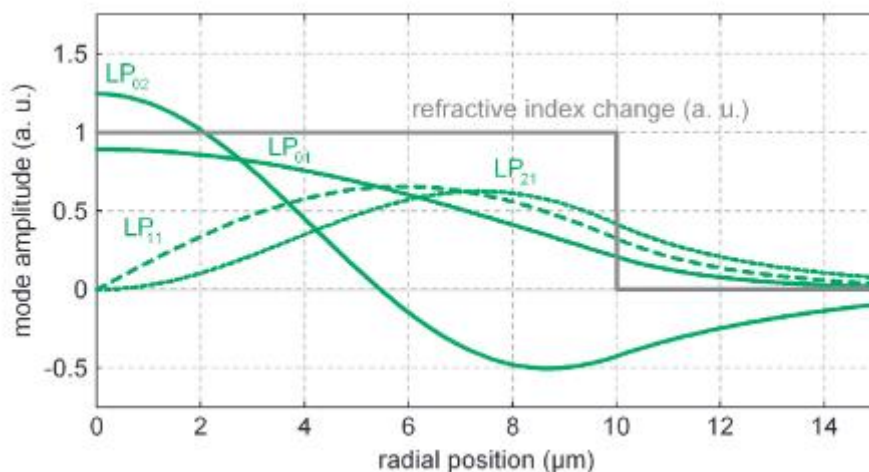
این معادله دیفرانسیل با شرایط مرزی مناسب ترکیب شده است

($F \rightarrow 0$ برای $r \rightarrow \infty$) در مورد حالت های هدایت شده، باید با استفاده از روش تحلیلی یا عددی حل شود.

برای مقادیر دلخواه β ، راه حل های F معمولاً برای $r \rightarrow \infty$ متفاوت هستند و بنابراین نمی توانند حالت های فیبر هدایت شده را نشان دهند. برای برخی از مقدار های صحیح غیر منفی l و مقدار β مناسب انتخاب شده، ممکن است راه حل هایی پیدا شود که به طور متناوب برای افزایش r صفر شوند. یکی با بیشترین مقدار β را می توان با $m = 1$ برچسب گذاری

کرد ، و راه حل هایی با β کمتر مقادیر عدد صحیح بیشتری از m را بدست می آورند. از روشهای عددی ممکن است برای فیبری با مشخصات نمایه دلخواه استفاده شود.

به عنوان نمونه ، شکل زیر توزیع دامنه شعاعی تمام راه حل ها را برای یک فیبر شاخص گام در یک طول موج مشخص نشان میدهد.



به عنوان مثال ، LP_{02} به این معنی است که $l = 0$ (یعنی هیچ وابستگی ϕ وجود ندارد) و برابر $m = 2$ است. حالت اساسی LP_{01} نزدیکترین حالت به یک مشخصه ساده گاوسی است ، تا حدی فراتر از هسته گسترش می یابد.

برای فیبر با وضوح یا شاخص بالا یا وابستگی آزاد به ضریب شکست ، محاسبات پیچیده تری لازم است. به ویژه برای محاسبه حالت های فیبر کریستال فوتونی حاوی سوراخ های هوا است.

هنگامی که همه حالت های یک فیبر شناخته شد ، انتشار یک پرتو تک رنگ با توزیع دلخواه در بین فیبر را می توان به روش کارآمد محاسبه کرد:

توزیع اولیه میدان $E_0(X,Y)$ را به حالت فیبر تجزیه کنید ، به عنوان مثال آن را به عنوان یک ترکیب خطی از حالت ها در نظر بگیرید:

$$E_0(x, y) = \sum_{l, m} a_{lm}(0) E_{lm}(x, y)$$

جایی که $E_{lm}(X, Y)$ توزیع میدانی برای شاخص های حالت l و m است. ضریب دامنه پیچیده اولیه a_{lm0} هر حالت را با استفاده از انتگرال همپوشانی محاسبه کنید. با فرض عملکردهای حالت نرمال:

$$a_{lm}(0) = \int E_{lm}^*(x, y) E_0(x, y) dx dy.$$

معمولاً فقط در نظر گرفتن حالتهای هدایت شونده کافی است زیرا حالتهای روکش معمولاً نسبتاً زیان آور هستند و بنابراین در خروجی نقش ندارند.

برای همه حالتهای در نظر گرفته شده ، تغییر دامنه و فاز را هنگام انتشار با استفاده از مقادیر شناخته شده α و β محاسبه کنید:

$$a_j(z) = a_j(0) \exp\left(-\frac{\alpha_j}{2} z + i\beta_j z\right).$$

توزیع میدان نهایی را بر اساس ضرایب حالت نهایی و مدهای حالت محاسبه کنید:

$$E(x, y, z) = \sum_{l, m} a_{lm}(z) E_{lm}(x, y).$$

برای تیرهای پلیکروماتیک ، اجزای فرکانس مختلف باید جداگانه پخش شوند.

فیبرها می توانند انواع مختلف حالت را پشتیبانی کنند:

- حالتهای هدایت شونده، حالتی با توزیع شدت محدود به هسته و مجاورت آن هستند. توزیع های میدانی آنها به طور برجسته در روکش کاری خراب می شود. حالتهای هدایت شونده معمولاً تلفات انتشار کمی دارند.
- در برخی شرایط ، حالت های به اصطلاح نشتی رخ می دهد که در اطراف هسته متمرکز شده اند اما مقداری از قدرت را در روکش از دست می دهند.

- حالت‌های روکش دارای توزیع شدیدی هستند که اساساً منطقه کامل روکش را پر می‌کنند ، بنابراین به سطح خارجی روکش نیز می‌رسند ، جایی که آنها اغلب با افت قدرت مواجه می‌شوند. شدت در هسته فیبر برای برخی از حالت‌های روکش قابل توجه است اما برای برخی دیگر بسیار کم است.

تعداد حالت‌های هدایت شده به شدت به طراحی فیبر بستگی دارد:

- فیبر فقط یک حالت هدایت شونده در هر جهت قطبش دارد که ، فیبر تک حالته گفته می‌شود راهنمایی در حالت تک معمولاً به برخی از دامنه‌های طول موج محدود می‌شود. به طور معمول ، راهنمایی چند حالته برای طول موج‌های زیر برخی از طول موج‌های قطع وجود دارد ، در حالی که تلفات انتشار برای طول موج‌های طولانی‌تر افزایش می‌یابد.
- فیبر با بیش از یک حالت هدایت شده را می‌گویند فیبر چند حالته. برخی فقط از چند حالت هدایت شده پشتیبانی می‌کنند برخی دیگر ممکن است تعداد بسیار زیادی را پشتیبانی کنند.

به طور کلی با کاهش طول موج ، تعداد حالت‌های هدایت شونده افزایش می‌یابد. حالت‌های روکش ، حالت‌های انتشار فیبر (یا موجر دیگری) هستند که محدود به محیط هسته نیستند. اگر چراغ بخوبی با حالت هدایت شونده مطابقت نداشته باشد ، ممکن است بخشی از برق را به حالت‌های روکش تزریق کند.



روکش فیبر اغلب توسط یک پوشش پلیمری احاطه شده است ، که نه تنها از فیبر به صورت مکانیکی محافظت می کند ، بلکه باعث از بین رفتن حالت های زیاد روکش نیز می شود. هرگونه برق در حالت های روکش ممکن است به سرعت خراب شود و به انتهای فیبر نرسد (به جز در مواردی که فیبر نسبتاً کوتاه است). نوری که به هسته پرتاب می شود ، تلفات انتشار بسیار کمتری دارد ، به طوری که قدرت آن تقریباً ثابت می ماند ، مگر اینکه فیبر خیلی طولانی باشد.

افت زیاد برای حالت های روکش کاری راحت است ، به عنوان مثال ، هنگام بررسی میزان کارایی نور به هسته فیبر ، یا هنگام اندازه گیری تلفات انتشار هسته فیبر. نور باقیمانده در حالت های روکش دار می تواند نگران کننده باشد ، به عنوان مثال ، وقتی کسی سعی می کند جذب قوی را در یک فیبر کوتاه و بسیار دوپ شده از زمین اندازه گیری کند. در اینجا ، نور در حالت های روکش از جذب جلوگیری می کند (زیرا روکش بدون جابجایی است) و بنابراین درجه ضعیف تری از جذب هسته را شبیه سازی می کند. از بین بردن نور در حالت های روکش می تواند با اتصال یک فیبر تک حالت به بدون جابجایی دیگر به فیبر آزمایش انجام شود. احتمال دیگر استفاده از قطره ای از مایع سازگار با شاخص روی فیبر است که پوشش آن از بین رفته است. فیبر شاخص گام ، فیبرنوری با ساده ترین مشخصات ضریب شکست هستند: یک هسته ضریب شکست ثابت در هسته با شعاع a ، و یک مقدار ثابت دیگر N_{core} در روکش. ما همیشه $N_{core} > N_{cladding}$ داریم ، زیرا در غیر این صورت هیچ حالت هدایت شده ای وجود ندارد.

برخی از پارامترهای مهم فیبرهای شاخص مرحله عبارتند از:

- دیافراگم عددی:

$$NA \equiv \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2}$$

مربوط به کنتراست ضریب شکست است. اگر تفاوت شاخص $N_{\text{core}} - N_{\text{cladding}} = \delta n$ هسته کوچک است (که معمولاً چنین است)، می توانیم تقریبی کنیم

$$NA \approx \sqrt{2 n_{\text{cladding}} \delta n} .$$

شماره 7:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a NA = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{cladding}}^2} .$$

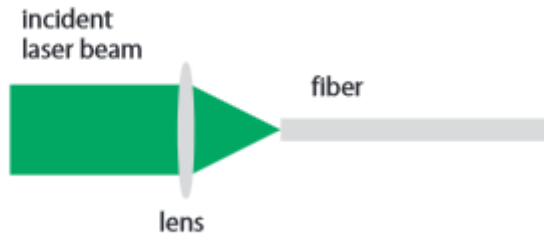
شماره V تعداد حالت های هدایت شده را تعیین می کند. به عنوان مثال، انتشار تک حالت برای V از 2.405 ~ بدست می آید. همچنین، عدد V کسری از توان یک حالت را که در هسته پخش می شود، تعیین می کند. بدیهی است که تعداد V به طول موج بستگی دارد، در حالی که این وابستگی برای دیافراگم عددی بسیار ضعیف است.

توجه داشته باشید که این پارامترها برای فیبر با مشخصه های شاخص به طور کلی تعریف نشده اند.

در بعضی از مناطق طول موج، فیبر با هسته کوچک ممکن است فقط یک حالت هدایت شده واحد در هر جهت قطبش داشته باشد. در آن حالت، مشخصات شدت در خروجی فیبر، مستقل از شرایط راه اندازی و خصوصیات فضایی نور تزریق شده، یک شکل ثابت دارد، به شرطی که هیچ حالت روکش نتواند قدرت قابل توجهی را به انتهای فیبر منتقل کند. با این حال، شرایط پرتاب بر روی کارایی اتصال نور به حالت هدایت شده تأثیر می گذارد. راه اندازی کارآمد مستلزم آن است که نور انتهای فیبر ورودی دارای یک پروفیل دامنه پیچیده شبیه به حالت هدایت شونده باشد. این نشان می دهد:

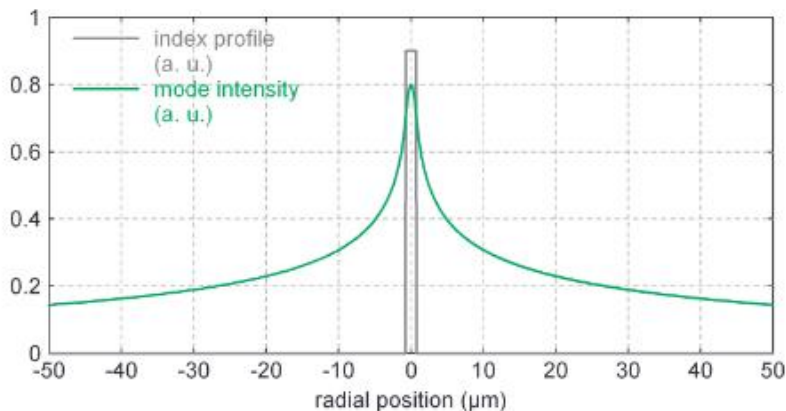
- که نور تزریق شده باید از کیفیت پرتو بالایی برخوردار باشد.

- این چراغ بر روی انتهای فیبر ورودی متمرکز شده است به گونه ای که یک نقطه با اندازه و موقعیت مناسب در انتهای فیبر بدست آید و جهت پرتو به درستی تراز شود.
- در صورت عدم تحقق این شرایط ، بخش بزرگی از قدرت نور وارد حالت روکش می شود.

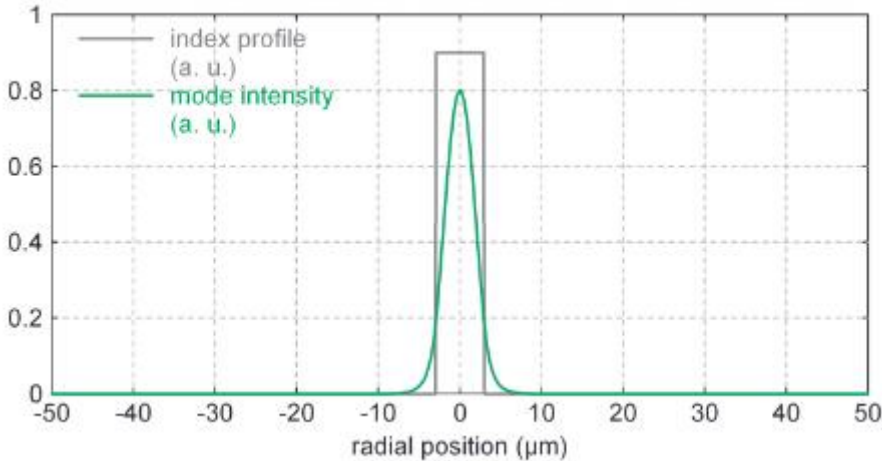


پرتاب طولانی مدت ، پایدار و کارآمد یک پرتوی لیزر فضای آزاد به یک فیبر تک حالت ، نیاز به یک تنظیم مکانیکی پایدار دارد که شامل یک لنز فوکوس با فاصله کانونی مناسب باشد (بستگی به اندازه حالت فیبر و پرتوی اولیه دارد) اندازه و یک نگهدارنده برای انتهای فیبر. این قطعات باید دقیقاً تراز شوند و بدون پراکندگی بیش از حد ناشی از حرارت ، ثابت بمانند.

برای طرح های فیبر کوچک با تعداد 7، به عنوان مثال 0.5، بسیاری از قدرت نوری ، خارج از هسته فیبر منتشر می شود:



برای طرحهایی با تعداد زیاد V ، به عنوان مثال، 2، بیشتر انرژی در هسته فیبر محدود می شود و شکل حالت تقریباً گاوسی است:



طراحی های دارای V بزرگ، راهنمای قوی تری ارائه می دهند:
برای اعداد V بین 0.8 و 2.5، شعاع حالت را می توان با فرمول Marcuse برآورد کرد:

$$\frac{w}{a} \approx 0.65 + \frac{1.619}{V^{3/2}} + \frac{2.879}{V^6}.$$

دیافراگم عددی نیز یک پارامتر مهم طراحی است:

- فیبر تک حالت با NA متوسط، مثلاً 0.1 یا 0.15 (مربوط به کنتراست های شاخص $< 1\%$) می تواند تلفات انتشار نسبتاً کمی داشته باشند. فیبر یک حالت منفعل استاندارد معمولاً در این محدوده کار می کند.
- مقادیر بالاتر NA، مانند 0.3 همراه با اندازه هسته کاهش یافته، ممکن است برای کاهش منطقه حالت موثر استفاده شود، به عنوان مثال، برای فیبر فعال با بهره وری بالا، یا برای به حداکثر رساندن اثرات غیرخطی. با این وجود، تلفات انتشار ممکن است افزایش یابد، زیرا پراکندگی در هسته و یا در هسته رابط پوشش قوی تر می شود.

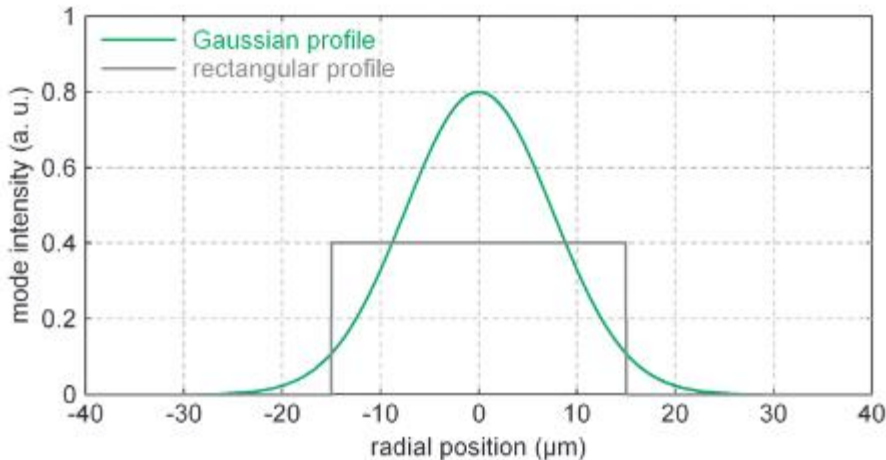
• مقادیر بسیار ناچیز NA (0.05 یا کوچکتر) برای فیبر با حالت بزرگ استفاده می شود ، در صورت لزوم ، به عنوان مثال هنگامی که اثرات غیرخطی نیاز به حداقل دارند. با این حال ، این امر منجر به هدایت کمتر قوی می شود. فیبر ممکن است به از دست دادن خمش حساس باشد ، و برای جلوگیری از اتلاف اضافی ناشی از حالت های غیر همسان شاخص ، به دقت بالایی در کنترل ضریب شکست نیاز است.

فیبر تک حلقه اغلب دارای مشخصه های های ضریب شکست هستند که به طور قابل توجهی از طرح شاخص پله ای منحرف می شوند ، یعنی مستطیل نیستند. به عنوان مثال ، ممکن است یک شیب ضریب شکست در مرکز به عنوان یک نتیجه ناخواسته از روند ساخت پریفرم ایجاد شود. در موارد دیگر ، از مشخصه های شاخص غیر مستطیلی (به عنوان مثال ، مشخصه های چند مرحله ای یا مثلثی) به طور عمدی استفاده می شوند ، به عنوان مثال ، برای اصلاح خصوصیات پراکندگی دیافراگم عددی ممکن است هنوز برای چنین فیبری تعریف شود ، اما به نظر می رسد هیچ تعریف قابل قبول جهانی وجود ندارد. یک احتمال استفاده از حداکثر ضریب شکست در هسته برای هسته Ncore در تعریف NA است. معادلات مختلف مشتق شده برای فیبر گام شاخص دیگر قابل استفاده نیستند.

اگر یک فیبر دارای حالت نیمرخ عرضی مستطیلی شکل با شعاع w باشد ، مساحت حالت آن $A = \pi w^2$ خواهد بود. با این حال ، حالت ها به طور معمول مشخصه های مستطیلی ندارند ، بنابراین ما باید با نوعی ناحیه حالت موثر کار کنیم. تعریف مشترک می تواند بر اساس مشخصات پیچیده میدان الکتریکی E_r یا مشخصات شدت I_r باشد:

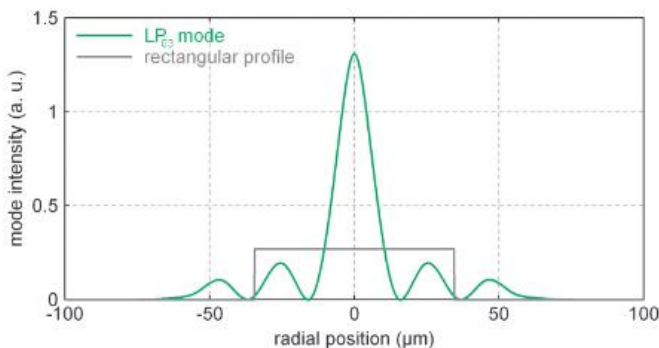
$$A_{\text{eff}} = \frac{\left(\int |E|^2 dA \right)^2}{\int |E|^4 dA} = \frac{\left(\int I dA \right)^2}{\int I^2 dA}.$$

ادغام در کل منطقه انجام می شود که شدت حالت قابل اغماض نیست. برای یک شکل مستطیل با شعاع w ، یا برای یک شکل گاوسی با شعاع حالت گاوسی w (کاهش شعاعی میدان $1/e$)، یک نتیجه حاصل می شود $A_{eff} = \pi w^2$.



نمودار یک مشخصه حالت گاوسی و یک مشخصه مستطیل شکل با همان ناحیه حالت موثر برای مقایسه نشان می دهد. شدت در واحدهای دلخواه است، اما هر دو منحنی مقیاس بندی شدت یکسانی را برای یک قدرت معین دارند. حالت گاوسی در مرکز دو برابر شدت دارد.

به عنوان مثال دیگر، نمودار زیر وضعیت یک حالت مرتبه بالاتر را نشان می دهد. در اینجا، شدت اوج بسیار بالاتر از مشخصه مستطیلی شکل با همان منطقه حالت موثر است.

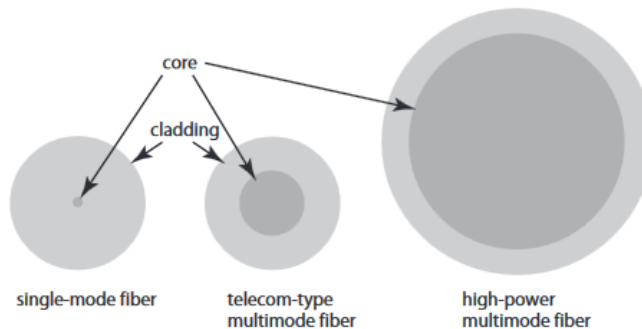


برای هر نمایه ، مساحت موثر محاسبه شده به گونه ای خواهد بود که تغییر فاز کر غیرخطی در فیبری با طول L و شاخص غیرخطی n_2

$$\Phi_{nl} = n_2 \frac{P}{A_{eff}} \frac{2\pi}{\lambda} L$$

اگر P قدرت نوری در حالت هدایت شده باشد. هرچه مساحت موثر بیشتر باشد ، شدت متوسط نیز کوچکتر است و اثرات غیرخطی ضعیف تر است. سهم بیشتر قله های شدت به تغییر فاز غیرخطی توسط شیفت های فاز پایین در مناطق با شدت کم جبران می شود و مکانیزم شکل دهی تغییر فازهای داخل مشخصه را برابر می کند.

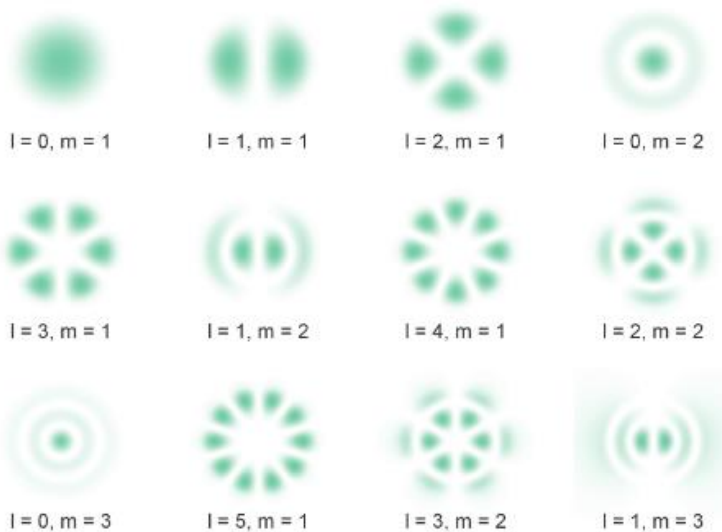
فیبر مخابراتی یک حالت معمول دارای نواحی موثر در مرتبه $50-100 \mu m^2$ ، مربوط به قطرهای حالت $8 - 11 \mu m^2$ هستند. برخی از فیبر کریستال فوتونیک بسیار غیرخطی می توانند مقادیر فقط چند μm^2 داشته باشند ، در حالی که فیبرهای با حالت ناحیه بزرگ می توانند مقادیر صدها یا حتی هزاران μm^2 را نشان دهند. فیبرهای چند حالته فیبرهایی هستند که بیش از یک حالت هدایت شونده را در جهت قطبش پشتیبانی می کنند. به طور معمول ، آنها هسته بزرگتری دارند. شکل زیر ابتدا یک فیبر تک حالت (برای مقایسه) و یک فیبر چند حالته معمولی را نشان می دهد ، به عنوان مثال ، برای ارتباطات فیبر نوری برد کوتاه. قطر روکش هر دو فیبر $125 \mu m$ است. فیبر چند حالته دارای نمایه گام به گام با قطر هسته 50



μm یا $62.5 \mu\text{m}$ و دیافراگم عددی به عنوان مثال 0.3 است (کنتراست شاخص: 2%) از صدها حالت هدایت شده پشتیبانی می کند.

سمت راست یک فیبر چند حالته با قدرت بالا را نشان می دهد ، جایی که هسته آن فقط کمی کوچکتر از روکش است. چنین فیبری از هزاران حالت پشتیبانی می کند و می تواند برای انتقال دهها وات یا بیشتر از یک دیود لیزر پر قدرت متصل به فیبر ، دارای کیفیت پرتو نسبتاً ضعیف استفاده شود. به طور معمول ، از طرح های شاخص گام با قطر هسته $50 - 100 - 200 - 400 - 600 - 800 \mu\text{m}$ استفاده می شود. مقادیر بزرگتر به فیبری با قطر خارجی زیاد احتیاج دارند و در نتیجه انعطاف پذیری مکانیکی را محدود می کنند. هسته غالباً از سیلیس خالص تشکیل شده است و توسط یک روکش فلزی با شاخص فشرده احاطه شده است ، به عنوان مثال با فلور دوپ می شود. علاوه بر این ، معمولاً مقداری بافر در اطراف فیبرشیشه وجود دارد (در شکل نشان داده نشده است).

شکل زیر تمام مشخصه های حالت را برای یک فیبر شاخص مرحله با هسته کوچکتر و $V \sim 8.8$ نشان می دهد. (حالت های اضافی با همان شکل ، اما به طور مثال با 90 درجه چرخانده شده اند ، نشان داده نمی شوند).

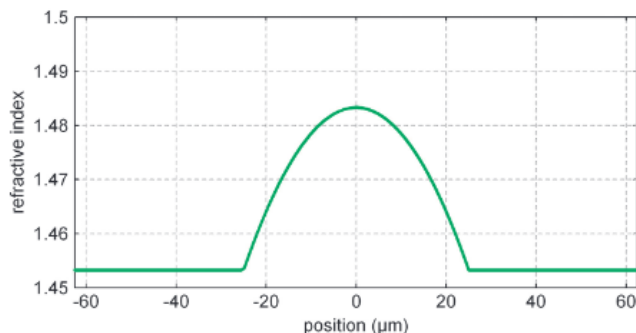


حالت این نوع فیبر معمولاً به صورت حالت LPlm با شاخص های l و m توصیف می شود این شاخص تعداد خطوط صفر را در جهت آزیموتال تعیین می کند ، در حالی که m مربوط به صفرهای تابش شعاعی است. اگر تعداد V زیاد باشد ، می توان تعداد حالت های هدایت شده را به صورت تقریبی تعیین کرد:

$$M \approx \frac{4}{\pi^2} V^2 .$$

راه اندازی نور به فیبر چند حالتی یا اتصال چنین فیبر بسیار ساده تر از فیبر تک حالت است: هسته بسیار بزرگتر است ، در حالی که NA اغلب بالاتر تا حدی تحمل زاویه را آرام می کند.

مشخصات خروجی نور از یک فیبر چند حالتی به شرایط پرتاب حساس است ، زیرا اینها توزیع دقیق نیرو را بر روی حالت های فیبر و فازهای نسبی نور در این حالت ها تعیین می کنند. از آنجا که حالت ها ثابت های انتشار مختلف دارند ، مراحل نسبی در هنگام انتشار به سرعت تغییر می کنند ، به طوری که مشخصات شدت درون فیبر تحت تغییرات سریع و پیچیده ای قرار می گیرد ، همانطور که در نشان داده شده است. شرایط دقیق انتشار نیز به تغییرات دما و تنش مکانیکی حساس هستند. برای نور باند پهن ، مشخصات شدت کل ممکن است صاف باشد ، زیرا شامل کمک هایی از طول موج های مختلف است.



تلفات انتشار فیبر چند حالتی به طور کلی بیشتر از فیبر تک حالتی است. این نتیجه از دیافراگم عددی به طور کلی بالاتر است، به عنوان مثال، افزایش کنتراست شاخص، که باعث افزایش تمایل به پراکندگی نور در رابط هسته پوشش می شود. برای برنامه های مخابراتی، طرح های نمای گام ایده آل نیستند، زیرا حالت های مختلف سرعت گروه به طور قابل توجهی را نشان می دهند. (به این پراکندگی بین مدلی گفته می شود.) در نتیجه، پالس های کوتاه (نمایانگر بیت های منتقل شده) به سرعت در حوزه زمانی شسته می شوند. همانطور که در زیر نشان داده شده است، می توان با استفاده از نمایه های شاخص سهمی، این اثر را تا حد زیادی کاهش داد. فیبرشیشه را می توان از شیشه های متنوعی تهیه کرد که از بین آنها شیشه های سیلیس شیشه کوارتز، SiO_2 آمورف اغلب به دلیل خاصیت برجسته و هزینه نسبتاً کم مورد استفاده قرار می گیرند. این برای کشیدن فیبر یک فاکتور مناسب است و می تواند تلفات انتشار بسیار کمی را نشان دهد.

هسته و / یا شیشه روکش ممکن است با دوپانتی خاص اصلاح شود که می تواند عملکردهای مختلفی داشته باشد:

- ضریب شکست هسته را می توان با دوپینگ با ناخالصی ژرمانیوم (GeO_2)، پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) یا آلومینا (Al_2O_3) افزایش داد. این امر منجر به شیشه های ژرمانوسیلیکات، فسفوسیلیکات یا آلومینوسیلیکات می شود.
- ضریب شکست هسته یا روکش ممکن است با ناخالصی فلورین یا اکسید بور (B_2O_3) کاهش یابد. به عنوان مثال، می توان فیبری را با یک هسته سیلیس خالص و روکش فلورین شده (دارای شاخص فشرده) ایجاد کرد.
- از ناخالص سازهای نادر زمین بیشتر برای فیبر فعال (تقویت کننده) استفاده می شود همانطور که در تقویت کننده های فیبر و لیزرها استفاده می شود.
- می توان از آلومینا و برخی از مواد پاک کننده دیگر برای افزایش حلالیت شیشه برای یونهای زمین کمیاب استفاده کرد. چنین ناخالص سازهایی می توانند بر