



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0044609

(51)^{2020.01} G02B 6/036

(13) B

(21) 1-2020-05544

(22) 26/02/2019

(86) PCT/JP2019/007356 26/02/2019

(87) WO2019/172022 A1 12/09/2019

(30) 2018-040665 07/03/2018 JP

(45) 25/04/2025 445

(43) 25/12/2020 393A

(71) SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD. (JP)

5-33, Kitahama 4-chome, Chuo-ku, Osaka-shi, Osaka 541-0041 Japan

(72) Masato SUZUKI (JP); Yuki KAWAGUCHI (JP); Yoshinori YAMAMOTO (JP);
Takemi HASEGAWA (JP).

(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) SỢI QUANG

(21) 1-2020-05544

(57) Sáng chế đề cập đến sợi quang theo một phương án bao gồm: lõi; lớp bọc trong bao quanh lõi và có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi; lớp bọc ngoài bao quanh lớp bọc trong và có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi và có chỉ số khúc xạ lớn hơn chỉ số khúc xạ của lớp bọc trong, trong đó tỷ số của bán kính tụ quang với trị số MAC (bán kính tụ quang/trị số MAC) ở bán kính uốn cong bằng 10mm ở bước sóng bằng 1625nm là lớn hơn hoặc bằng $2,70\mu\text{m}$.

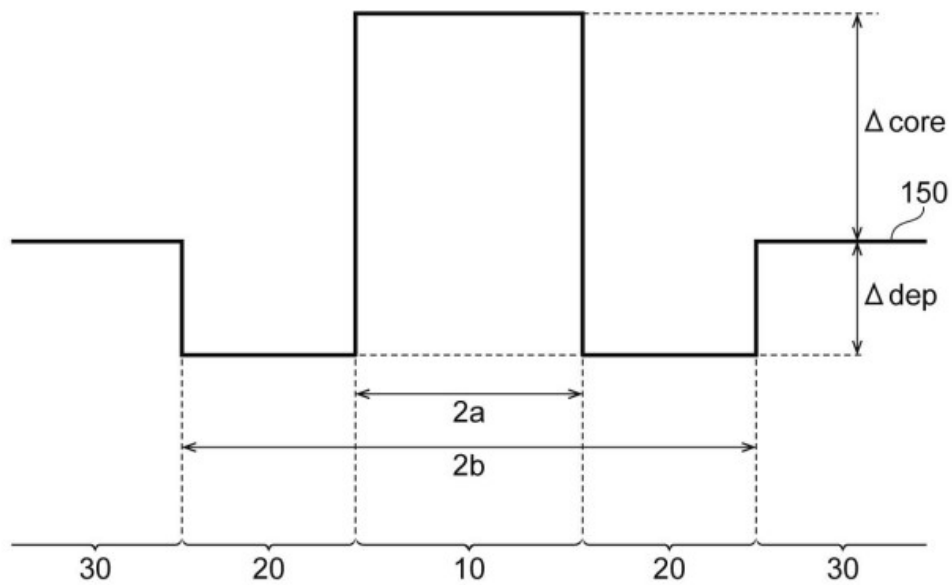


FIG. 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến sợi quang.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Ngoài các linh kiện quang và các môđun quang sử dụng các sợi quang, các sợi quang được uốn cong với bán kính nhỏ thường được lắp đặt cụ thể trong hệ thống truy cập ở các mạng sợi quang. Khi sợi quang được uốn cong, tổn hao do uốn cong xảy ra trong tín hiệu quang được truyền bởi sợi quang. Điều này dẫn đến nhu cầu đối với sợi quang có mức tổn hao do uốn cong thấp. Tổn hao do uốn cong là tổn hao gây ra bởi việc uốn cong sợi quang ở bán kính nhất định.

Danh mục tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Đơn sáng chế Nhật Bản đã công bố số 2015-166853

Tài liệu phi sáng chế

Tài liệu phi sáng chế 1: R. Morgan, et al., “Wavelength dependence of bending loss in monomode optical fibers: effect of the fiber buffer coating, (Sự phụ thuộc bước sóng của tổn hao do uốn cong trong các sợi quang đơn kiểu: hiệu quả của lớp phủ đệm sợi)” Opt. Lett., Vol. 15, No. 17, pp.947- 949 (1990).

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sợi quang theo sáng chế bao gồm lõi, lớp bọc trong bao quanh lõi, và lớp bọc ngoài bao quanh lớp bọc trong. Lớp bọc trong có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi. Lớp bọc ngoài có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi và lớn hơn chỉ số khúc xạ của lớp bọc trong. Cụ thể, trong sợi quang, tỷ số giữa bán kính tự quang với trị số MAC ở bán kính uốn cong bằng 10mm ở bước sóng bằng 1625nm (bán kính tự quang/trị số MAC) là lớn hơn hoặc bằng 2,70 μ m.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là giản đồ minh họa ví dụ về profin chỉ số khúc xạ của sợi quang.

Fig.2 là giản đồ minh họa profin chỉ số khúc xạ tương đương của sợi quang được uốn cong ở bán kính nhất định.

Fig.3A là giản đồ minh họa mỗi trong số các thông số của sợi quang.

Fig.3B là hình vẽ minh họa cấu trúc mặt cắt ngang của sợi quang.

Fig.4 là đồ thị minh họa sự tương quan giữa trị số MAC và tổn hao do uốn cong.

Fig.5 là đồ thị minh họa mối liên hệ giữa bán kính tụ quang hiệu dụng $R_{c,eff}$ ($R = 10\text{mm}$, $\lambda = 1625\text{nm}$) và tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,10}$ trong sợi quang có profin chỉ số khúc xạ có dạng hình chữ W.

Fig.6 là đồ thị minh họa mối liên hệ giữa bán kính tụ quang hiệu dụng $R_{c,eff}$ ($R = 15\text{mm}$, $\lambda = 1625\text{nm}$) và tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,15}$.

Fig.7 là giản đồ minh họa phần chuyển tiếp ở profin chỉ số khúc xạ có dạng hình chữ W.

Fig.8 là bảng tóm tắt thông số kỹ thuật của sợi quang theo các ví dụ và các ví dụ so sánh (phần 1).

Fig.9 là bảng tóm tắt thông số kỹ thuật của sợi quang theo các ví dụ và các ví dụ so sánh (phần 2).

Fig.10 là bảng tóm tắt khoảng ưu tiên và khoảng ưu tiên hơn của mỗi trong số các thông số của sợi quang.

Mô tả chi tiết sáng chế

Thông số được gọi là bán kính tụ quang có ý nghĩa quan trọng trong việc khảo sát tổn hao do uốn cong của sợi quang. Bán kính tụ quang sẽ được mô tả có dựa vào Fig.1 và Fig.2. Fig.1 là giản đồ minh họa ví dụ về profin chỉ số khúc xạ của sợi quang. Sợi quang này có profin chỉ số khúc xạ có dạng hình chữ W 150. Điều đó nghĩa là, sợi quang này bao gồm lõi 10, lớp bọc trong 20 bao quanh lõi 10, và lớp bọc ngoài 30 bao quanh lớp bọc trong 20. Lớp bọc trong 20 có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi 10. Lớp bọc ngoài 30 có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi 10 và lớn hơn chỉ số khúc xạ của lớp bọc trong 20.

Fig.2 là giản đồ minh họa profin chỉ số khúc xạ tương đương 160 để điều khiển sợi quang được uốn cong ở bán kính nhất định ở dạng ống dẫn sóng thẳng. Khi sợi quang được uốn cong, khoảng cách truyền lan của ánh sáng ở phía ngoài của chỗ uốn của sợi quang sẽ dài hơn ở phía trong của chỗ uốn. Do đó, như được minh họa trên Fig.2, profin chỉ số khúc xạ tương đương có chỉ số khúc xạ cao ở mỗi trong số các phần được bố trí phía ngoài chỗ uốn, trong khi có chỉ số khúc xạ thấp ở mỗi trong số các phần được bố trí phía trong chỗ uốn. Chỉ số khúc xạ được tính toán có xem xét đến sự thay đổi về chỉ số khúc xạ do chỗ uốn được gọi là chỉ số khúc xạ tương đương. Trên Fig.2, mức chỉ số khúc xạ hiệu dụng của kiểu LP01 ở bước sóng λ nhất định cũng được minh họa bằng đường đứt nét. Bán kính tụ quang được xác định là khoảng cách từ vị trí tâm ở mặt cắt ngang của sợi quang (tương ứng với tâm O ở mặt cắt ngang sợi được minh họa trên Fig.3A) đến vị trí mà chỉ số khúc xạ tương đương và chỉ số khúc xạ hiệu dụng là bằng nhau trong profin chỉ số khúc xạ tương đương 160 theo chiều bán kính của sợi quang song song với chiều uốn cong của sợi quang được uốn cong ở bán kính nhất định.

Ở đây, chỉ số khúc xạ hiệu dụng $n_{\text{eff}}(\lambda)$ của kiểu LP01 ở bước sóng λ được xác định là trị số thu được bằng cách chia hằng số truyền lan của kiểu LP01 ở bước sóng λ khi sợi quang không được uốn cong cho số sóng ở bước sóng λ . Khi profin chỉ số khúc xạ trên mặt cắt ngang sợi ở bước sóng λ là $n(\lambda, r)$ và bán kính uốn cong là R (mm), profin chỉ số khúc xạ tương đương $n_{\text{bend}}(R, \lambda, r, \theta)$ của sợi quang được xác định bởi công thức (1) sau đây. Lưu ý rằng Fig.3A là giản đồ minh họa mỗi trong số các thông số của sợi quang.

$$n_{\text{bend}}(R, \lambda, r, \theta) = n(\lambda, r) \left(1 + \frac{r \cdot \cos \theta}{R} \right) \quad (1)$$

Khoảng cách r (mm) được minh họa trên Fig.3A là khoảng cách từ tâm O của mặt cắt ngang sợi đến một điểm nhất định. Điều đó nghĩa là, profin chỉ số khúc xạ $n(\lambda, r)$ trên mặt cắt ngang sợi ở bước sóng λ thể hiện mối liên hệ giữa khoảng cách r và chỉ số khúc xạ n (chỉ số khúc xạ ở bước sóng λ) ở vị trí cách xa tâm O trong mặt cắt ngang sợi quang (mặt cắt ngang sợi) bởi khoảng cách r . Đường thẳng nối vị trí tâm của bán kính uốn cong R và tâm O của mặt cắt ngang sợi được xác định là trục x , tâm O ở mặt cắt ngang sợi được xác định là gốc ($x = 0$) trên trục x , và chiều từ vị trí tâm của bán

kính uốn cong R đến tâm O ở mặt cắt ngang sợi được xác định là chiều dương. Lúc này, θ là góc được tạo bởi đoạn thẳng nối một điểm nhất định trên mặt cắt ngang sợi và tâm O ở mặt cắt ngang sợi với nhau và nửa đoạn thẳng được xác định bởi vùng trong đó x lớn hơn hoặc bằng 0.

Trong phần sau đây, trong trường hợp $\theta = 0$ (điều đó nghĩa là, trong vùng trong đó $x \geq 0$ trên trục x), biến x thỏa mãn công thức (2) sau đây trong số các trị số mà dẫn đến chỉ số khúc xạ tương đương $n_{bend}(R, \lambda, r, 0)$ của sợi quang bằng chỉ số khúc xạ hiệu dụng $n_{eff}(\lambda)$ của kiểu LP01 được xác định là bán kính tự quang $R_c(R, \lambda)$ ở bước sóng λ khi sợi quang được uốn cong ở bán kính uốn cong R . Trong trường hợp $R_c(R, \lambda)$ như vậy có nhiều giá trị, trị số nhỏ nhất trong số các trị số này được chấp nhận.

$$n_{bend}(R, \lambda, 0,95x < r < 0,99x, 0) < n_{bend}(R, \lambda, 1,01x < r < 1,05x, 0) \quad (2)$$

Ánh sáng tồn tại bên ngoài bán kính tự quang ở mặt cắt ngang sợi được phát xạ về phía ngoài của sợi quang, dẫn đến tổn hao do uốn cong (tham khảo tài liệu sáng chế 1). Điều đó nghĩa là, để làm giảm tổn hao do uốn cong, cần làm giảm cường độ của ánh sáng tồn tại bên ngoài bán kính tự quang. Có hai biện pháp khả dụng để làm giảm cường độ ánh sáng tồn tại bên ngoài bán kính tự quang. Biện pháp thứ nhất là làm tăng bán kính tự quang để làm giảm vùng mặt cắt ngang sợi quang có thể thực hiện sự phát xạ khi có mặt ánh sáng. Biện pháp thứ hai là tăng cường sự bó ánh sáng vào lõi, nhờ đó làm giảm độ trải rộng của sự phân bố ánh sáng trong mặt cắt ngang sợi quang.

Vấn đề kỹ thuật

Các tác giả sáng chế đã phát hiện ra các vấn đề sau đây khi khảo sát các sợi quang thông thường. Điều đó nghĩa là, trong biện pháp thứ hai được mô tả trên đây, sự bó ánh sáng vào lõi có thể được biểu hiện định lượng bởi thông số được gọi là trị số MAC. Trị số MAC là trị số thu được bằng cách chia đường kính trường chế độ (mode field diameter, MFD) của kiểu LP01 ở 1310nm cho bước sóng cắt λ_c . Bước sóng cắt là bước sóng cắt của sợi được xác định trong ITU-T G.650.1. Có sự tương quan giữa trị số MAC và tổn hao do uốn cong. Do đó, các phương pháp thông thường đã tập trung vào việc làm giảm trị số MAC như là một hướng dẫn để sản xuất sợi quang có mức tổn

hao do uốn cong thấp.

Fig.4 là đồ thị minh họa sự tương quan giữa trị số MAC và tổn hao do uốn cong. Tuy nhiên, như được minh họa trên Fig.4, mặc dù có một mức độ tương quan nhất định giữa trị số MAC và tổn hao do uốn cong, nhưng sự biến thiên còn lớn. Tổn hao do uốn cong trên trục tung trên Fig.4 là trị số cho một vòng ở bán kính uốn cong $R = 10\text{mm}$ ở bước sóng $\lambda = 1625\text{nm}$.

Do đó, các tác giả sáng chế đã khảo sát bán kính tụ quang ngoài trị số MAC làm các thông số để xác định tổn hao do uốn cong. Ngoài ra, các tác giả sáng chế đã nghiên cứu mối liên hệ giữa trị số thu được bằng cách chia bán kính tụ quang cho trị số MAC (sau đây được gọi là “bán kính tụ quang hiệu dụng”) và tổn hao do uốn cong trong quá trình khảo sát. Nhờ kết quả của việc sản xuất thử nghiệm lặp lại đối với các sợi quang, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng tổn hao do uốn cong có thể được xác định với độ chính xác cao hơn bởi bán kính tụ quang hiệu dụng khi so với trường hợp sử dụng trị số MAC.

Sáng chế đã được thực hiện dựa trên các phát hiện trên đây, và nhằm đề xuất sợi quang có mức tổn hao do uốn cong thấp.

Hiệu quả có lợi của sáng chế

Theo sáng chế, có thể tạo ra sợi quang với mức tổn hao do uốn cong thấp.

Các phương án thực hiện sáng chế

Trước tiên, các dấu hiệu của các phương án của sáng chế sẽ được liệt kê và được mô tả riêng rẽ.

(1) Sợi quang theo một khía cạnh của sáng chế bao gồm lõi, lớp bọc trong bao quanh lõi, và lớp bọc ngoài bao quanh lớp bọc trong. Lớp bọc trong có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi. Lớp bọc ngoài có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi và lớn hơn chỉ số khúc xạ của lớp bọc trong. Cụ thể, trong sợi quang, tỷ số giữa bán kính tụ quang với trị số MAC ở bán kính uốn cong bằng 10mm ở bước sóng bằng 1625nm (bán kính tụ quang/trị số MAC) là lớn hơn hoặc bằng $2,70\mu\text{m}$.

(2) Theo một khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu sợi quang có MFD lớn hơn hoặc bằng $8,2\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,9\mu\text{m}$ ở bước sóng bằng 1310nm . Theo một

khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu bán kính ngoài b của lớp bọc trong lớn hơn hoặc bằng $15,5\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $22,5\mu\text{m}$, trị số Δ_{dep} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lớp bọc trong trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài là lớn hơn hoặc bằng $-0,11\%$ và nhỏ hơn hoặc bằng $-0,03\%$ (tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $-0,09\%$ và nhỏ hơn hoặc bằng $-0,03\%$), và trị số MAC tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng $6,26$ và nhỏ hơn hoặc bằng $7,56$. Theo khía cạnh này, tỷ số b/a của bán kính ngoài b của lớp bọc trong với bán kính a của lõi có thể là trị số bất kỳ miễn là trị số này lớn hơn hoặc bằng $3,5$ và nhỏ hơn hoặc bằng $6,0$. Theo một khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu bán kính ngoài b của lớp bọc trong lớn hơn hoặc bằng $18,0\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $22,0\mu\text{m}$, trị số Δ_{dep} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lớp bọc trong trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài là lớn hơn hoặc bằng $-0,09\%$ và nhỏ hơn hoặc bằng $-0,04\%$ (tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $-0,07\%$ và nhỏ hơn hoặc bằng $-0,04\%$), và trị số MAC lớn hơn hoặc bằng $6,30$ và nhỏ hơn hoặc bằng $7,25$ (hoặc lớn hơn hoặc bằng $6,40$). Theo khía cạnh này, tỷ số b/a của bán kính ngoài b của lớp bọc trong với bán kính a của lõi có thể là trị số bất kỳ miễn là trị số này lớn hơn hoặc bằng $4,5$ và nhỏ hơn hoặc bằng $5,5$. Theo một khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu sợi quang có bước sóng cắt của cấp λ_{cc} nhỏ hơn hoặc bằng 1260nm và bước sóng tán sắc zero lớn hơn hoặc bằng 1300nm và nhỏ hơn hoặc bằng 1324nm . Ở đây, độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối Δ của chỉ số khúc xạ n được xác định bằng cách sử dụng chỉ số khúc xạ n_0 ở bước sóng bằng 1550nm của silic oxit tinh khiết, như sau:

$$\Delta = (n^2 - n_0^2) / (2n^2)$$

(3) Theo một khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu đường kính lõi là lớn hơn hoặc bằng $7,3\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,0\mu\text{m}$, và tốt hơn nếu trị số Δ_{core} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lõi trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài là lớn hơn hoặc bằng $0,32\%$ và nhỏ hơn hoặc bằng $0,40\%$. Theo một khía cạnh của sáng chế, vị trí cách tâm của lõi (tâm của mặt cắt ngang sợi) một khoảng bằng bán kính tụ quang ở bán kính uốn cong bằng 15mm ở bước sóng bằng 1625nm tốt hơn là có mặt trong lớp bọc trong hoặc trong phần chuyển tiếp giữa lớp bọc trong và lớp bọc ngoài. Hơn nữa, theo một khía

cạnh của sáng chế, vị trí cách tâm của lõi một khoảng bằng bán kính tụ quang ở bán kính uốn cong bằng 15mm ở bước sóng bằng 1625nm tốt hơn là có mặt trong lớp bọc ngoài không bao gồm phần chuyển tiếp giữa lớp bọc trong và lớp bọc ngoài. Trong trường hợp này, ở vị trí nêu trên được xác định bởi bán kính tụ quang, độ dốc của profin chỉ số khúc xạ được xác định bởi mối liên hệ giữa khoảng cách dọc theo chiều từ tâm của lõi với bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài và chỉ số khúc xạ, điều đó nghĩa là, độ dốc (dn/dr) của profin chỉ số khúc xạ $n(\lambda = 1625\text{nm}, r)$ tốt hơn là có giá trị âm. Hơn nữa, theo một khía cạnh của sáng chế, vị trí cách tâm của lõi một khoảng bằng bán kính tụ quang ở bán kính uốn cong bằng 15mm ở bước sóng bằng 1625nm tốt hơn là có mặt trong lớp bọc ngoài không bao gồm phần chuyển tiếp giữa lớp bọc trong và lớp bọc ngoài. Trong trường hợp này, ở vị trí nêu trên được xác định bởi bán kính tụ quang, độ dốc của profin ứng suất dư được xác định bởi mối liên hệ giữa khoảng cách dọc theo chiều từ tâm của lõi với bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài và ứng suất dư có giá trị dương.

(4) Theo một khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu ứng suất dư ở phần ngoài cùng của lớp bọc ngoài giảm từ tâm của lõi về phía bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài. Thuật ngữ “phần ngoài cùng của lớp bọc ngoài” dùng để chỉ phần (vùng ngoài) của lớp bọc ngoài được bố trí ở phía ngoài so với điểm giữa nằm giữa biên của lớp bọc trong/lớp bọc ngoài và bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài. Ứng suất dư bao gồm hai loại ứng suất, cụ thể là, ứng suất kéo và ứng suất nén. Thuật ngữ “sự giảm ứng suất dư” dùng để chỉ cả sự giảm trị số tuyệt đối của ứng suất kéo và sự tăng trị số tuyệt đối của ứng suất nén.

(5) Theo một khía cạnh của sáng chế, sợi quang có thể còn bao gồm lớp nhựa sơ cấp bao quanh lớp bọc ngoài. Hơn nữa, theo một khía cạnh của sáng chế, sợi quang có thể còn bao gồm lớp nhựa sơ cấp và lớp nhựa thứ cấp bao quanh lớp nhựa sơ cấp này. Theo một khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu lớp nhựa sơ cấp có chỉ số khúc xạ lớn hơn hoặc bằng 1,44 và nhỏ hơn hoặc bằng 1,51 ở bước sóng bằng 546nm. Theo một khía cạnh của sáng chế, trị số tuyệt đối của độ chênh lệch chỉ số khúc xạ giữa lớp nhựa sơ cấp và lớp nhựa thứ cấp ở bước sóng bằng 546nm tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,07. Theo một khía cạnh của sáng chế, tốt hơn nếu lớp nhựa sơ cấp có môđun Young nhỏ hơn hoặc bằng 1MPa và lớp nhựa thứ cấp có môđun Young lớn hơn hoặc

bằng 800MPa.

Như được mô tả trên đây, mỗi khía cạnh được liệt kê trong phần [Mô tả các phương án của sáng chế] có thể được áp dụng cho tất cả các khía cạnh còn lại hoặc cho tất cả các tổ hợp của các khía cạnh còn lại này.

Sau đây, kết cấu cụ thể của sợi quang theo phương án của sáng chế sẽ được mô tả chi tiết có dựa vào các hình vẽ kèm theo. Cần hiểu rằng sáng chế không bị giới hạn trong các ví dụ này, mà sẽ được chỉ ra bởi phạm vi của phần yêu cầu bảo hộ, và sáng chế được dự định bao gồm các ý nghĩa tương đương với phần yêu cầu bảo hộ và tất cả các biến thể trong phạm vi này. Các ký hiệu chỉ dẫn giống nhau được sử dụng cho các chi tiết giống nhau trong phần mô tả các hình vẽ và các phần mô tả lặp lại sẽ được loại bỏ.

Đã biết theo kinh nghiệm rằng một trong các điều kiện tổn hao do uốn cong nghiêm ngặt nhất được mô tả trong tiêu chuẩn ITU-T G.657.A2 là đạt được cả bước sóng $\lambda = 1625\text{nm}$ và bán kính uốn cong $R = 10\text{mm}$. Fig.5 là đồ thị minh họa mối liên hệ giữa bán kính tự quang hiệu dụng $R_{c, \text{eff}}$ ($R = 10\text{mm}$, $\lambda = 1625\text{nm}$) và tổn hao do uốn cong trong sợi quang có profin chỉ số khúc xạ có dạng hình chữ W. Tổn hao do uốn cong trên trục tung trên Fig.5 là trị số cho một vòng ở bán kính uốn cong $R = 10\text{mm}$ ở bước sóng $\lambda = 1625\text{nm}$ (sau đây, được gọi là trị số $\alpha_{1625,10}$). Như được quan sát từ Fig.5, sợi quang có bán kính tự quang hiệu dụng lớn hơn hoặc bằng $2,70\mu\text{m}$ có thể thỏa mãn $\alpha_{1625,10} \leq 0,2 \text{ dB/vòng}$, điều này tương ứng với tiêu chuẩn ITU-T G.657.A2.

Ở đây, sợi quang của sáng chế có profin chỉ số khúc xạ có dạng hình chữ W 150 được minh họa trên Fig.1. Hơn nữa, như được minh họa trên Fig.3B, sợi quang bao gồm, ở dạng cấu trúc mặt cắt ngang, lõi 10 (tâm của lõi 10 trùng với tâm O của mặt cắt ngang sợi), lớp bọc trong 20 bao quanh lõi 10, và lớp bọc ngoài 30 bao quanh lớp bọc trong 20. Lớp bọc trong 20 có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi 10. Lớp bọc ngoài 30 có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi 10 và lớn hơn chỉ số khúc xạ của lớp bọc trong 20. Sợi quang còn bao gồm lớp nhựa sơ cấp 40 bao quanh lớp bọc ngoài 30, và lớp nhựa thứ cấp 50 bao quanh lớp nhựa sơ cấp 40.

Hơn nữa, trong sợi quang có profin chỉ số khúc xạ có dạng hình chữ W 150 và bán kính tự quang hiệu dụng lớn hơn hoặc bằng $2,70\mu\text{m}$, việc đạt được MFD lớn hơn

hoặc bằng $8,2\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,9\mu\text{m}$ trong kiểu LP01 ở bước sóng 1310nm sẽ khiến cho có thể đáp ứng tiêu chuẩn ITU-T G.657.A2. Vì MFD nhỏ hơn thì có thể làm giảm bán kính tự quang hiệu dụng, nên MFD tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $8,2\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,6\mu\text{m}$, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $8,2\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,0\mu\text{m}$. Ngoài ra, MFD của sợi quang theo tiêu chuẩn thấp hơn được thể hiện bởi G.652.D nằm trong khoảng từ $8,8\mu\text{m}$ đến $9,6\mu\text{m}$. Từ điều này, tốt hơn nếu việc đạt được MFD lớn hơn hoặc bằng $8,4\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,6\mu\text{m}$ là được ưu tiên vì điều này khiến cho có thể ngăn chặn sự tăng tổn hao liên kết với sợi theo tiêu chuẩn thấp hơn. Tốt hơn nữa, nếu MFD là lớn hơn hoặc bằng $8,5\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,2\mu\text{m}$.

Điều kiện đủ cho sợi quang để thực hiện sự truyền đơn kiểu ở bước sóng bằng 1310nm là đạt được bước sóng cắt 2m nhỏ hơn 1310nm . Để đạt được bước sóng cắt 2m nhỏ hơn 1310nm trong khoảng MFD từ $8,2\mu\text{m}$ đến $9,9\mu\text{m}$, trị số MAC cần phải lớn hơn hoặc bằng $6,26$ và nhỏ hơn hoặc bằng $7,56$. Để sản xuất sợi quang trong khoảng trị số MAC này, tỷ số b/a của bán kính ngoài b của lớp bọc trong với bán kính a của lõi tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng $3,5$ và nhỏ hơn hoặc bằng $6,0$, và bán kính ngoài b của lớp bọc trong tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng $15,5\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $22,5\mu\text{m}$, và trị số Δ_{dep} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lớp bọc trong trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng $-0,11\%$ và nhỏ hơn hoặc bằng $-0,03\%$.

Bán kính a của lõi và bán kính ngoài b của lớp bọc trong được xác định ở vị trí có độ chênh lệch lớn nhất. Điều đó nghĩa là, bán kính a của lõi là điểm mà ở đó hệ số vi phân của biến khoảng cách r của chỉ số khúc xạ $n(\lambda = 1550\text{nm}, r)$ ở bước sóng bằng 1550nm trở thành trị số nhỏ nhất nằm trong khoảng $3\mu\text{m} \leq r \leq 6\mu\text{m}$. Bán kính ngoài b của lớp bọc trong là điểm mà ở đó hệ số vi phân của biến khoảng cách r của chỉ số khúc xạ $n(\lambda = 1550\text{nm}, r)$ ở bước sóng 1550nm trở thành trị số lớn nhất nằm trong khoảng $6\mu\text{m} \leq r$.

Trong quá trình sản xuất sợi quang, điều quan trọng là dự đoán tổn hao do uốn cong từ các chỉ số như trị số MAC. Khi xét rằng bán kính tự quang hiệu dụng $R_{c,\text{eff}}$ ($R = 10\text{mm}$, $\lambda = 1625\text{nm}$) ($= R_c(R = 10\text{mm}, \lambda = 1625\text{nm})/\text{MAC}$) là hàm số của trị số

MAC, $\partial\alpha_{1625,10}(R_{c,eff})/\partial MAC$ có thể là chỉ số về mức độ thay đổi tổn hao do uốn cong liên quan đến sự thay đổi về trị số MAC. Ví dụ, điều này khiến cho có thể thu được mức độ dao động dự kiến về tổn hao do uốn cong khi MAC thay đổi theo chiều dọc của sợi quang. Khi sự phụ thuộc của R_c vào trị số MAC là không đáng kể, $\partial\alpha_{1625,10}(R_{c,eff})/\partial MAC$ có thể được tính toán theo công thức (3) sau đây.

$$\frac{\partial\alpha_{1625,10}(R_{c,eff})}{\partial MAC} = -\frac{R_c}{MAC^2} \cdot \frac{\partial\alpha_{1625,10}(R_{c,eff})}{\partial R_{c,eff}} \quad (3)$$

Điều đó nghĩa là, trị số MAC càng lớn, thì sự dao động của tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,10}$ do sự biến thiên của các trị số MAC theo chiều dọc của sợi quang càng nhỏ, dẫn đến tác dụng tạo điều kiện thuận lợi cho việc kiểm soát chất lượng của tổn hao do uốn cong. Trị số MAC tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 6,30 và nhỏ hơn hoặc bằng 7,30, và cũng tốt hơn nếu b lớn hơn hoặc bằng $18,0\mu m$ và nhỏ hơn hoặc bằng $22,0\mu m$, b/a lớn hơn hoặc bằng 4,5 và nhỏ hơn hoặc bằng 5,5, và trị số Δ_{dep} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lớp bọc trong trừ chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài là lớn hơn hoặc bằng $-0,09\%$ và nhỏ hơn hoặc bằng $-0,04\%$.

Với điều kiện là bước sóng cắt của cáp nhỏ hơn hoặc bằng $1260nm$ và bước sóng tán sắc zero theo kiểu LP01 là lớn hơn hoặc bằng $1300nm$ và nhỏ hơn hoặc bằng $1324nm$, có thể làm giảm sự suy giảm chất lượng truyền thông do sự tán sắc do kiểu và sự tán sắc ở dải bước sóng $1,3\mu m$.

Với trị số MAC lớn hơn, có thể ngăn chặn sự dao động ở tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,10}$ do sự biến thiên của các trị số MAC theo chiều dọc của sợi quang thậm chí với cùng bán kính tụ quang hiệu dụng $R_{c,eff}$ ($R = 10mm$, $\lambda = 1625nm$). Tuy nhiên, để làm tăng trị số MAC mà không thay đổi bán kính tụ quang hiệu dụng, thì cần làm tăng bán kính tụ quang. Một trong số các phương pháp để làm tăng bán kính tụ quang là làm tăng đường kính lõi để mở rộng độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lõi liên quan đến lớp bọc ngoài và làm tăng chỉ số khúc xạ hiệu dụng của kiểu LP01. Với điều kiện là đường kính lõi (2a) là lớn hơn hoặc bằng $7,3\mu m$ và nhỏ hơn hoặc bằng $9,0\mu m$, trị số (Δ_{core}) thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lõi trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc

ngoài là lớn hơn hoặc bằng 0,32% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%, và $\Delta_{\text{core}} - \Delta_{\text{dep}}$ là lớn hơn hoặc bằng 0,36% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,44%, có thể làm tăng chỉ số khúc xạ hiệu dụng (làm tăng bán kính tụ quang) trong khi ngăn không cho xảy ra sự truyền đa kiểu ở dải bước sóng 1,3 μm . Tốt hơn nữa là, đường kính lõi (2a) là lớn hơn hoặc bằng 7,4 μm và nhỏ hơn hoặc bằng 8,7 μm , Δ_{core} là lớn hơn hoặc bằng 0,34% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,38%, và $\Delta_{\text{core}} - \Delta_{\text{dep}}$ là lớn hơn hoặc bằng 0,40% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,44%.

Tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,15}$ ở bước sóng bằng 1625nm ở bán kính uốn cong bằng 15mm cũng là một trong các tiêu chuẩn tổn hao do uốn cong nghiêm ngặt nhất trong tiêu chuẩn ITU-T G.657.A2. Fig.6 là đồ thị minh họa mối liên hệ giữa bán kính tụ quang hiệu dụng $R_{\text{c,eff}}$ ($R = 15\text{nm}$, $\lambda = 1625\text{nm}$) và tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,15}$. Tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,15}$ trên trục tung trên Fig.6 là trị số cho một vòng ở bán kính uốn cong $R = 15\text{mm}$ ở bước sóng $\lambda = 1625\text{nm}$. Fig.6 sử dụng các cách ký hiệu khác nhau trên các đồ thị giữa trường hợp trong đó bán kính tụ quang tồn tại trong phần chuyển tiếp giữa lớp bọc trong 20 và lớp bọc ngoài 30 và trường hợp trong đó bán kính tụ quang tồn tại trong lớp bọc ngoài 30 không bao gồm phần chuyển tiếp. Phần chuyển tiếp là vùng trong đó chỉ số khúc xạ chuyển tiếp giữa lớp bọc trong 20 và lớp bọc ngoài 30 trong profin chỉ số khúc xạ có dạng hình chữ W 170 được minh họa trên Fig.7. Trong bản mô tả này, phần được kẹp giữa hai điểm mà ở đó đạo hàm bậc hai của chỉ số khúc xạ liên quan đến bán kính được cực đại hóa và cực tiểu hóa, ở lân cận của biên giữa lớp bọc trong 20 và lớp bọc ngoài 30, được xác định là “phần chuyển tiếp”.

Khi vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang có mặt trong phần chuyển tiếp, có thể làm giảm tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,15}$ thậm chí với bán kính tụ quang hiệu dụng $R_{\text{c,eff}}$ nhỏ ($R (= 15\text{nm})$, $\lambda = 1625\text{nm}$), khi so sánh với trường hợp trong đó vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang có mặt trong lớp bọc ngoài 30 không bao gồm phần chuyển tiếp. Từ điều này, tốt hơn nữa là thiết đặt vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang trong phần chuyển tiếp. Trong trường hợp vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang có mặt trong lớp bọc ngoài 30 không bao gồm phần chuyển tiếp, cần làm tăng bán kính tụ quang hiệu dụng. Như là một trong số các phương pháp làm tăng bán kính tụ quang hiệu dụng, hữu hiệu khi thiết đặt độ dốc của profin chỉ số khúc xạ 170 thành độ dốc về cơ bản là âm đối với bán kính trong profin chỉ số khúc xạ 170 của lớp bọc

ngoài 30 không bao gồm phần chuyển tiếp ở vị trí được quy định bởi bán kính tụ quang. Ngẫu nhiên là, ví dụ về Fig.7 là trường hợp trong đó độ dốc của profin chỉ số khúc xạ 170 của lớp bọc ngoài 30 (vùng ngoài của lớp bọc ngoài) không bao gồm phần chuyển tiếp là bằng không, điều đó nghĩa là, profin chỉ số khúc xạ 170 trong vùng ngoài của lớp bọc ngoài 30 là phẳng từ tâm của lõi 10 về phía bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài 30. Do đó, như được biểu thị bằng đường đứt nét 171 trên Fig.7, bằng cách điều chỉnh chỉ số khúc xạ sao cho giảm từ tâm của lõi 10 về phía bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài 30 trong vùng ngoài của lớp bọc ngoài 30 (vùng lớp bọc ngoài không bao gồm phần chuyển tiếp), độ dốc của profin chỉ số khúc xạ 171 trong vùng ngoài của lớp bọc ngoài 30 có thể được thiết đặt thành độ dốc âm.

Sở dĩ như vậy là vì, khi so sánh với trường hợp trong đó profin chỉ số khúc xạ trong lớp bọc ngoài 30 không bao gồm phần chuyển tiếp có độ dốc dương hoặc độ dốc phẳng (như được biểu thị bởi profin chỉ số khúc xạ 170), có thể thu được bán kính tụ quang dài hơn khi profin chỉ số khúc xạ có độ dốc về cơ bản là âm (như được biểu thị bởi profin chỉ số khúc xạ 171), khiến cho có thể góp phần làm giảm tổn hao do uốn cong $\alpha_{1625,15}$. Cụ thể, khi vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang có mặt trong lớp bọc ngoài 30 không bao gồm phần chuyển tiếp, và khi độ dốc của profin ứng suất dư ở vị trí này về cơ bản là dương, thì có thể, do tác dụng quang đàn hồi, dự liệu độ dốc âm trong profin chỉ số khúc xạ của lớp bọc ngoài 30 ở lân cận vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang ngay cả khi profin chỉ số khúc xạ của lớp bọc ngoài 30 không bao gồm phần chuyển tiếp ở tầng vật liệu nền của sợi quang về cơ bản là không âm. Liên quan đến dấu của ứng suất dư trong bản mô tả này, ứng suất kéo được xác định là dương và ứng suất nén được xác định là âm. Do đó, trạng thái trong đó “profin ứng suất dư có độ dốc dương” tương ứng với một trong số các trạng thái trong đó ứng suất kéo đang làm tăng theo chiều từ tâm của lõi 10 về phía bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài 30, trong đó ứng suất nén đang chuyển thành ứng suất kéo, hoặc trong đó ứng suất nén đang tăng lên.

Như được mô tả trong tài liệu phi sáng chế 1, có một hiện tượng đã biết là chế độ vọng hành lang (whispering gallery mode) gây ra bởi độ chênh lệch chỉ số khúc xạ giữa lớp bọc ngoài 30 và lớp nhựa sơ cấp 40 trong kết cấu bao gồm: lớp nhựa sơ cấp 40 bao quanh lớp bọc ngoài 30; và lớp nhựa thứ cấp 50 bao quanh lớp nhựa sơ cấp 40

(tham khảo Fig.3B). Hiện tượng chế độ vọng hành lang là hiện tượng trong đó ánh sáng phát xạ bởi sự phản xạ Fresnel ở biên giữa lớp bọc ngoài 30 và lớp nhựa sơ cấp 40 được ghép nối lại với kiểu LP01. Hiện tượng chế độ vọng hành lang này có thể làm xấu đi tổn hao do uốn cong, và do đó điều quan trọng là ngăn chặn sự gia tăng của độ chênh lệch chỉ số khúc xạ giữa lớp bọc ngoài 30 và lớp nhựa sơ cấp 40. Tốt hơn, trị số tuyệt đối của độ chênh lệch giữa chỉ số khúc xạ trung bình của lớp bọc ngoài 30 và chỉ số khúc xạ của lớp nhựa sơ cấp 40 ở bước sóng bằng 546nm là nhỏ hơn hoặc bằng 0,06. Tốt hơn nữa, trị số thu được bằng cách lấy chỉ số khúc xạ của lớp nhựa sơ cấp 40 ở bước sóng bằng 546nm trừ chỉ số khúc xạ trung bình của lớp bọc ngoài 30 là lớn hơn hoặc bằng 0 và nhỏ hơn hoặc bằng 0,04.

Khi ứng suất dư được làm giảm về phía giá trị âm ở phần ngoài cùng của lớp bọc ngoài 30, có thể làm giảm độ chênh lệch chỉ số khúc xạ giữa lớp bọc ngoài 30 và lớp nhựa sơ cấp 40 do tác dụng quang đàn hồi, khi so sánh với trường hợp trong đó ứng suất dư không được làm giảm. Điều này có thể là hữu hiệu khi làm giảm sự phản xạ Fresnel và ngăn chặn hiện tượng chế độ vọng hành lang ở mặt phân cách giữa lớp bọc ngoài 30 và lớp nhựa sơ cấp 40.

Sự phản xạ Fresnel cũng xảy ra ở mặt phân cách giữa lớp nhựa sơ cấp 40 và lớp nhựa thứ cấp 50 do độ chênh lệch chỉ số khúc xạ giữa hai lớp, và do đó, hiện tượng chế độ vọng hành lang có thể cũng xảy ra ở gần biên này. Do đó, cũng mong muốn có độ chênh lệch chỉ số khúc xạ nhỏ giữa lớp nhựa sơ cấp 40 và lớp nhựa thứ cấp 50. Tốt hơn, trị số tuyệt đối của độ chênh lệch chỉ số khúc xạ ở bước sóng 546nm giữa lớp nhựa sơ cấp 40 và lớp nhựa thứ cấp 50 là nhỏ hơn hoặc bằng 0,10. Tốt hơn nữa là, trị số thu được bằng cách lấy chỉ số khúc xạ của lớp nhựa thứ cấp 50 ở bước sóng 546nm trừ chỉ số khúc xạ của lớp nhựa sơ cấp 40 là lớn hơn hoặc bằng 0 và nhỏ hơn hoặc bằng 0,07. Hơn nữa, nhờ việc đạt được trạng thái trong đó môđun Young của lớp nhựa sơ cấp 40 được thiết đặt nhỏ hơn hoặc bằng 1MPa ở trạng thái sợi (trạng thái được áp dụng đối với sợi quang có cấu trúc mặt cắt ngang như được minh họa trên Fig.3B), và nhờ việc đạt được trạng thái trong đó môđun Young của lớp nhựa thứ cấp 50 được thiết đặt lớn hơn hoặc bằng 800MPa (tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 1000MPa), có thể thu được tác dụng ngăn chặn tổn hao do uốn cong nhẹ. Tổn hao do uốn cong nhẹ là tổn hao quang học mà xảy ra trong sợi quang chủ yếu do uốn cong theo chiều ngẫu nhiên

khi sợi quang được tạo hình thành cáp.

Fig.8 và Fig.9 là bảng tóm tắt các thông số kỹ thuật của sợi quang theo các ví dụ từ 1 đến 12 và các ví dụ so sánh từ 1 đến 4. Fig.8 minh họa các thông số kỹ thuật của sợi quang theo các ví dụ từ 1 đến 5 và các ví dụ so sánh từ 1 đến 3 ở bán kính uốn cong $R = 10\text{mm}$. Fig.9 minh họa các thông số kỹ thuật của sợi quang theo các ví dụ từ 6 đến 12 và ví dụ so sánh 4 ở bán kính uốn cong $R = 15\text{mm}$. Fig.10 là bảng tóm tắt các khoảng ưu tiên và các khoảng ưu tiên hơn của mỗi trong số các thông số của sợi quang.

Đơn này dựa trên và yêu cầu hưởng quyền ưu tiên từ đơn sáng chế Nhật Bản số 2018-040665, nộp ngày 7 tháng 3 năm 2018, toàn bộ nội dung của đơn này được đưa vào đây bằng cách viện dẫn.

Danh mục các ký hiệu chỉ dẫn

10 ... Lõi; 20 ... Lớp bọc trong; 30 ... Lớp bọc ngoài; 40...Lớp nhựa sơ cấp; và 50 ... Lớp nhựa thứ cấp.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Sợi quang bao gồm:

lõi;

lớp bọc trong bao quanh lõi, lớp bọc trong này có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi; và

lớp bọc ngoài bao quanh lớp bọc trong, lớp bọc ngoài này có chỉ số khúc xạ nhỏ hơn chỉ số khúc xạ của lõi và lớn hơn chỉ số khúc xạ của lớp bọc trong,

trong đó, tỷ số của bán kính tụ quang với trị số MAC ở bán kính uốn cong bằng 10mm ở bước sóng bằng 1625nm là lớn hơn hoặc bằng 2,70 μ m.

2. Sợi quang theo điểm 1, sợi quang này có đường kính trường chế độ lớn hơn hoặc bằng 8,2 μ m và nhỏ hơn hoặc bằng 9,9 μ m ở bước sóng bằng 1310nm.

3. Sợi quang theo điểm 1 hoặc 2,

trong đó bán kính ngoài b của lớp bọc trong lớn hơn hoặc bằng 15,5 μ m và nhỏ hơn hoặc bằng 22,5 μ m,

trị số Δ_{dep} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lớp bọc trong trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài là lớn hơn hoặc bằng -0,11% và nhỏ hơn hoặc bằng -0,03%, và

trị số MAC lớn hơn hoặc bằng 6,26 và nhỏ hơn hoặc bằng 7,56.

4. Sợi quang theo điểm 1 hoặc 2,

trong đó bán kính ngoài b của lớp bọc trong lớn hơn hoặc bằng 18,0 μ m và nhỏ hơn hoặc bằng 22,0 μ m,

trị số Δ_{dep} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lớp bọc trong trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài là lớn hơn hoặc bằng -0,09% và nhỏ hơn hoặc bằng -0,04%, và

trị số MAC lớn hơn hoặc bằng 6,30 và nhỏ hơn hoặc bằng 7,25.

5. Sợi quang theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, sợi quang này có:

bước sóng cắt của cáp nhỏ hơn hoặc bằng 1260nm; và

bước sóng tán sắc zero lớn hơn hoặc bằng 1300nm và nhỏ hơn hoặc bằng 1324nm.

6. Sợi quang theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5,

trong đó lõi có đường kính lớn hơn hoặc bằng 7,3 μ m và nhỏ hơn hoặc bằng 9,0 μ m, và

trị số Δ_{core} thu được bằng cách lấy độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối trung bình của lõi trừ độ chênh lệch chỉ số khúc xạ tương đối lớn nhất của lớp bọc ngoài là lớn hơn hoặc bằng 0,32% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%.

7. Sợi quang theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6,

bao gồm vị trí cách tâm của lõi một khoảng bằng bán kính tụ quang ở bán kính uốn cong bằng 15mm ở bước sóng bằng 1625nm mà nằm trong lớp bọc trong hoặc trong phần chuyển tiếp giữa lớp bọc trong và lớp bọc ngoài.

8. Sợi quang theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6,

bao gồm vị trí cách tâm của lõi một khoảng bằng bán kính tụ quang ở bán kính uốn cong bằng 15mm ở bước sóng bằng 1625nm mà nằm trong lớp bọc ngoài không bao gồm phần chuyển tiếp giữa lớp bọc trong và lớp bọc ngoài,

trong đó profin chỉ số khúc xạ được xác định bởi mối liên hệ giữa khoảng cách và chỉ số khúc xạ có độ dốc âm ở vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang, khoảng cách được xác định là khoảng cách dọc theo chiều từ tâm của lõi về phía bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài.

9. Sợi quang theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6,

bao gồm vị trí cách tâm của lõi một khoảng bằng bán kính tụ quang ở bán kính uốn cong bằng 15mm ở bước sóng bằng 1625nm mà nằm trong lớp bọc ngoài không bao gồm phần chuyển tiếp giữa lớp bọc trong và lớp bọc ngoài,

trong đó profin ứng suất dư được xác định bởi mối liên hệ giữa khoảng cách và ứng suất dư có độ dốc dương ở vị trí được xác định bởi bán kính tụ quang, khoảng cách được xác định là khoảng cách dọc theo chiều từ tâm của lõi về phía bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài.

10. Sợi quang theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 9,

trong đó ở phần ngoài cùng của lớp bọc ngoài, ứng suất dư giảm từ điểm giữa về phía bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài, điểm giữa này được bố trí giữa biên của lớp bọc trong và lớp bọc ngoài và bề mặt chu vi ngoài của lớp bọc ngoài, phần ngoài cùng này được bố trí ở phía ngoài so với điểm giữa.

11. Sợi quang theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 10 còn bao gồm:

lớp nhựa sơ cấp bao quanh lớp bọc ngoài.

12. Sợi quang theo điểm 11,

trong đó lớp nhựa sơ cấp có chỉ số khúc xạ lớn hơn hoặc bằng 1,44 và nhỏ hơn hoặc bằng 1,51 ở bước sóng bằng 546nm.

13. Sợi quang theo điểm 11 hoặc 12 còn bao gồm:

lớp nhựa thứ cấp bao quanh lớp nhựa sơ cấp.

14. Sợi quang theo điểm 13,

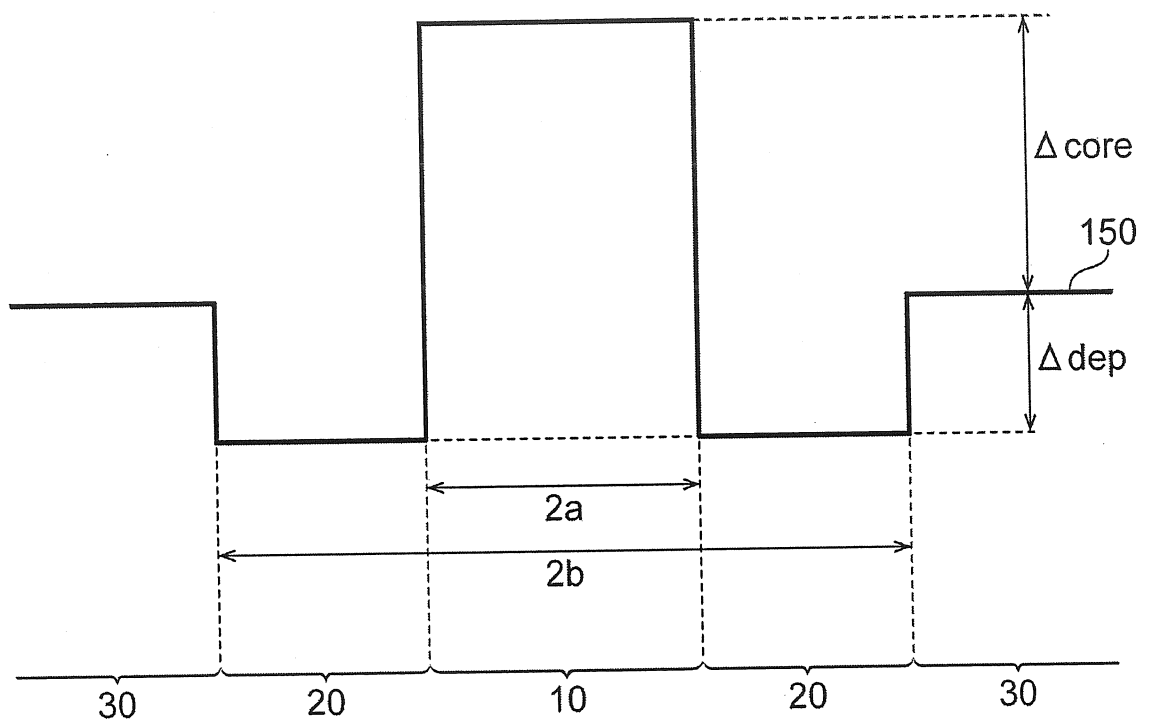
trong đó trị số tuyệt đối của độ chênh lệch chỉ số khúc xạ giữa lớp nhựa sơ cấp và lớp nhựa thứ cấp ở bước sóng bằng 546nm là nhỏ hơn hoặc bằng 0,07.

15. Sợi quang theo điểm 13 hoặc 14,

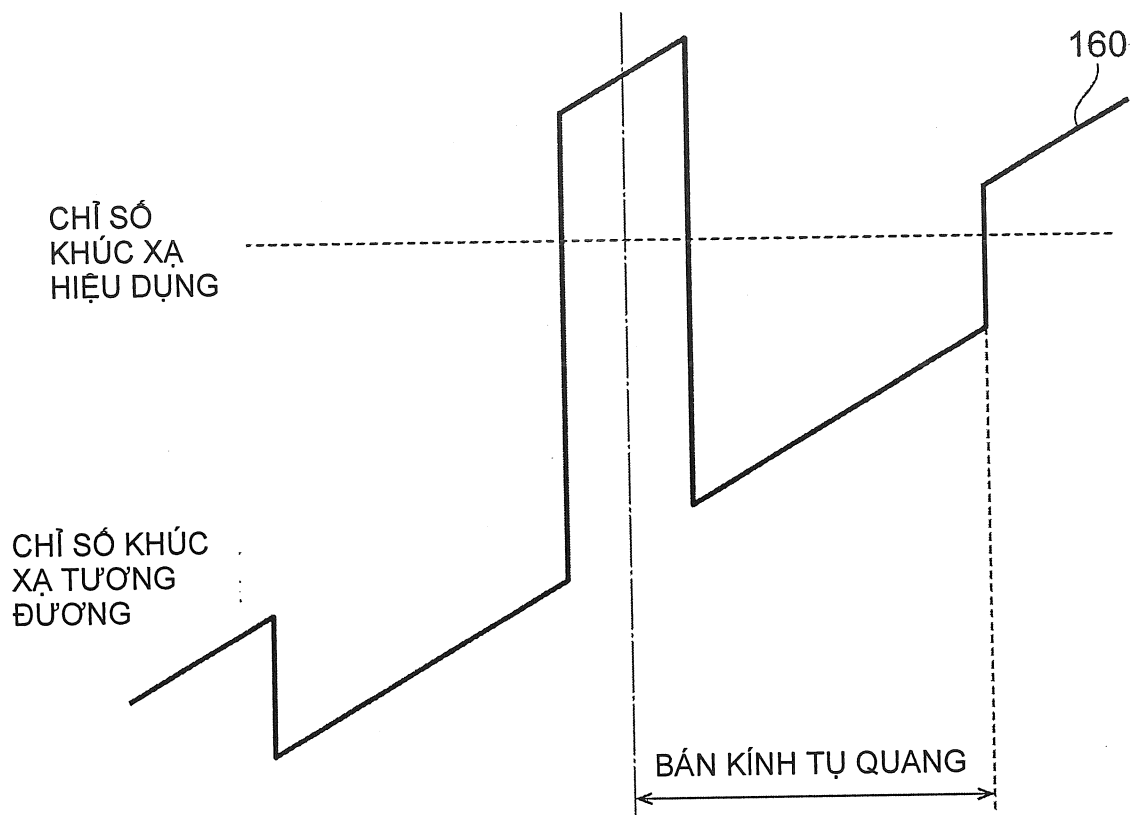
trong đó lớp nhựa sơ cấp có môđun Young nhỏ hơn hoặc bằng 1MPa, và

lớp nhựa thứ cấp có môđun Young lớn hơn hoặc bằng 800MPa.

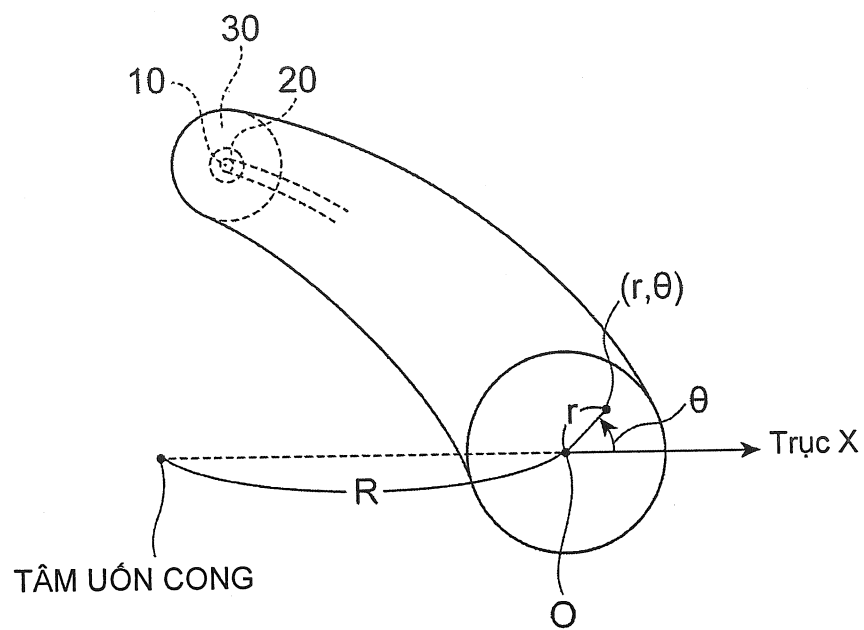
1 / 11

Fig.1

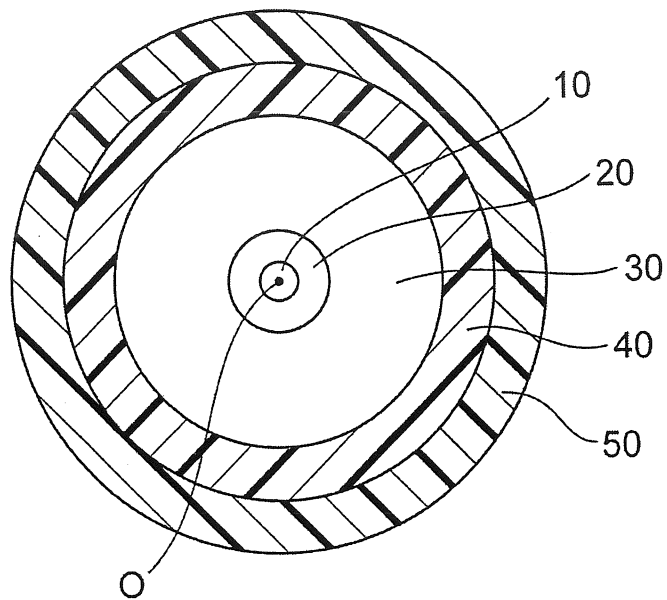
2 / 11

Fig.2

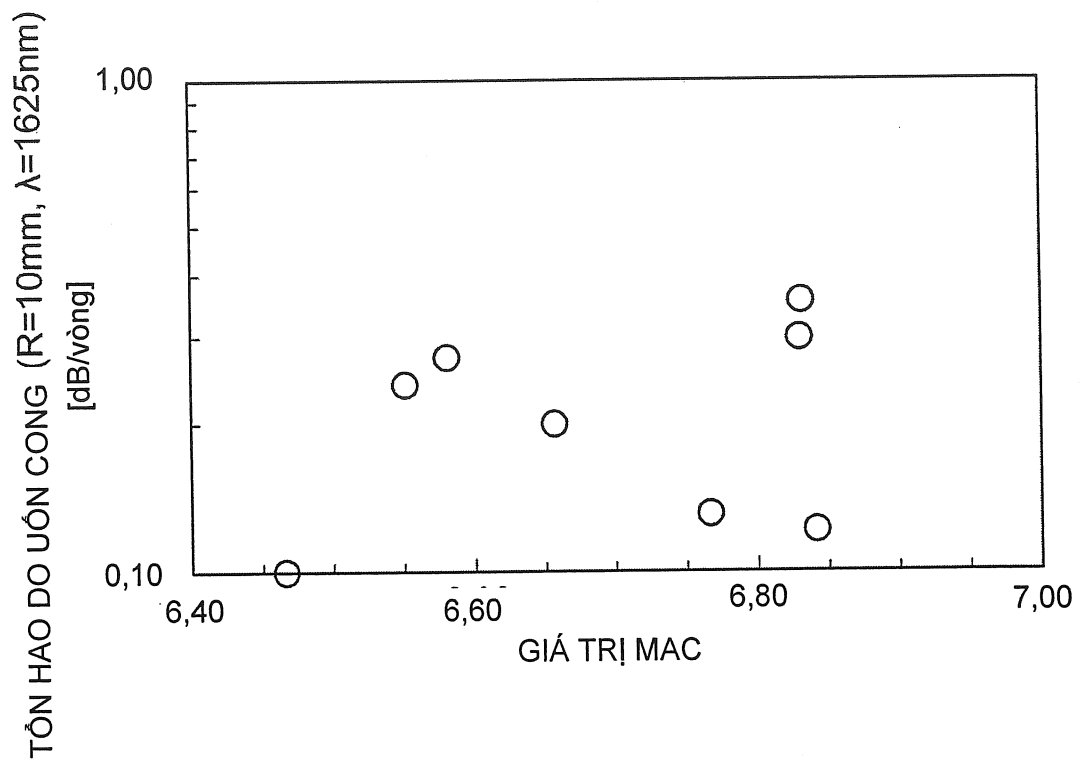
3 / 11

Fig.3A

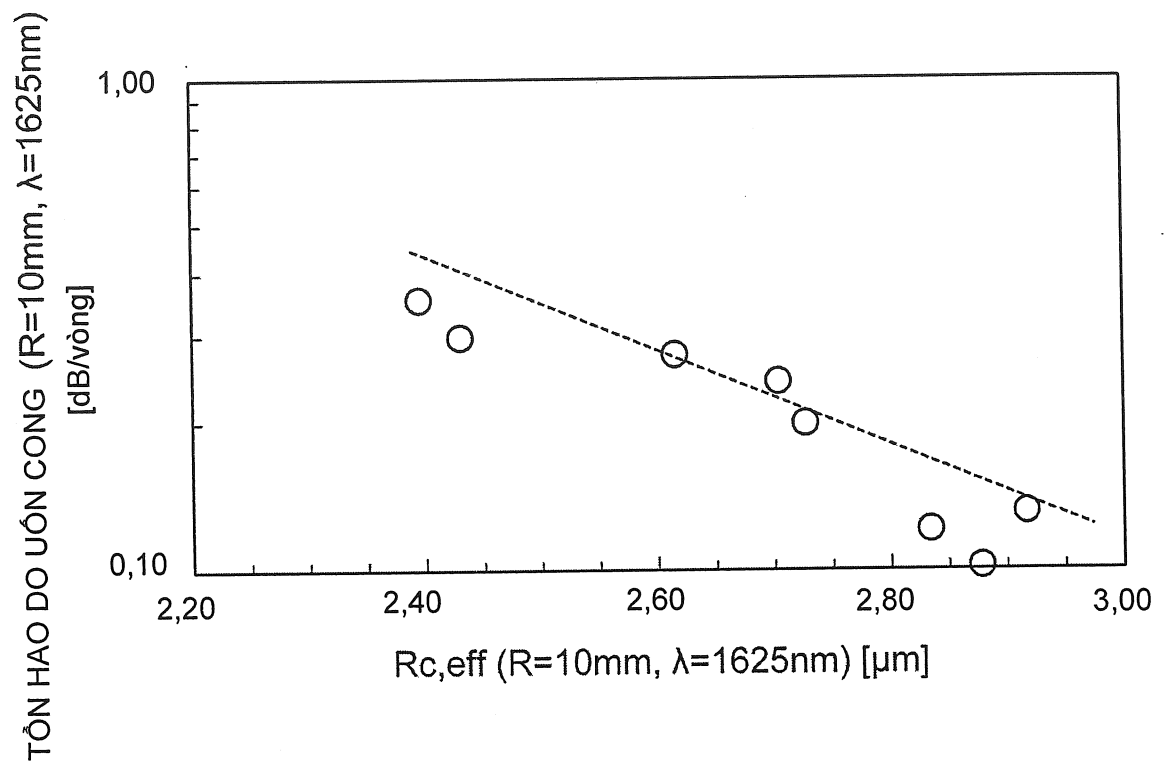
4 / 11

Fig.3B

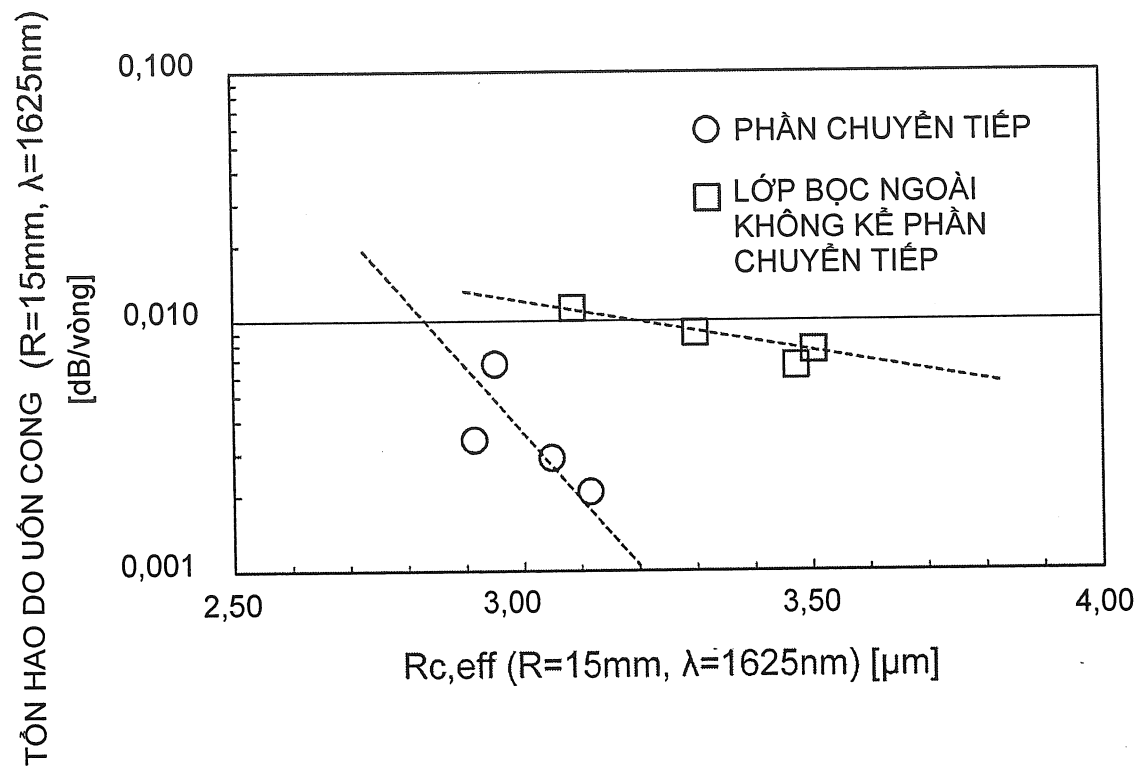
5 / 11

Fig.4

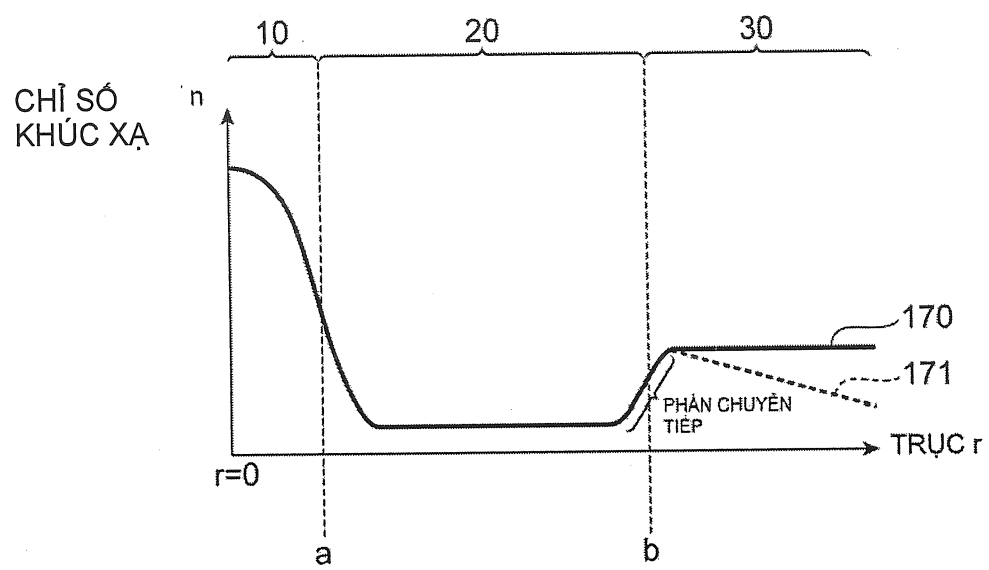
6 / 11

Fig.5

7 / 11

Fig.6

8 / 11

Fig.7

9/11

Fig.8

Mục	Tổn hao do uốn cong ($R=10$ mm, $\lambda =$ 1625nm)	MFD (1,31 μm)	λ_c	Giá trị MAC	b	b/a	Bước sóng tán sắc zero	λ_{cc}	R_c ($R=10$ mm, λ = 1625 nm)	$R_{c,eff}$ ($R=10$ mm, λ = 1625 nm)	Bán kính lõi a	Chi số khúc xạ tương đối trung bình của lõi của lõi Δ_{core}	Chi số khúc xạ trung bình của lớp bọc trong Δ_{dep}	Δ_{core} - Δ_{dep}
Đơn vị	dB/vòng	μm	nm	Không thứ nguyên	μm	Không thứ nguyên	nm	nm	μm	μm	μm	%	%	%
Ví dụ 1	0,12	8,70	1271	6,84	19,9	4,91	1309	1218	19,39	2,83	4,06	0,33	-0,086	0,42
Ví dụ 2	0,13	8,72	1289	6,77	20,6	5,49	1315	1236	19,74	2,92	3,75	0,34	-0,076	0,41
Ví dụ 3	0,10	8,40	1299	6,47	19,1	4,81	1316	1258	18,61	2,88	3,98	0,37	-0,053	0,43
Ví dụ 4	0,20	8,38	1260	6,66	18,6	4,96	1312	1225	18,15	2,73	3,75	0,37	-0,064	0,44
Ví dụ 5	0,24	8,26	1263	6,55	18,4	4,90	1318	1221	17,72	2,70	3,75	0,37	-0,054	0,43
Ví dụ so sánh 1	0,30	8,55	1208	6,83	19,3	5,04	1323	1169	16,61	2,43	3,83	0,39	-0,058	0,45
Ví dụ so sánh 2	0,35	8,47	1240	6,83	19,2	5,46	1323	1199	16,37	2,40	3,52	0,37	-0,049	0,42
Ví dụ so sánh 3	0,27	8,50	1277	6,58	17,8	4,94	1315	1235	17,21	2,62	3,60	0,37	-0,060	0,43

10/11

Fig.9

Mục	Tổn hao do uốn cong ($R=15$ mm, $\lambda =$ 1625nm)	MFD (1,31 μm)	λ_c	Giá trị MAC	b/a	Bước sóng tán sắc zero	λ_{cc}	R_c ($R=15$ mm, $\lambda =$ 1625 nm) μm	Vị trí R_c	$R_{c,eff}$ ($R=15$ mm, $\lambda =$ 1625 nm) μm	Bán kính ngoài của lớp bọc trong b μm
Đơn vị	dB/vòng	μm	nm	Không thứ nguyên	Không thứ nguyên	nm	nm	μm	Không	μm	μm
Ví dụ 6	0,003	8,70	1271	6,84	4,91	1309	1218	20,87	Phản chuyển tiếp	3,05	19,916
Ví dụ 7	0,002	8,72	1289	6,77	5,49	1315	1236	21,09	Phản chuyển tiếp	3,12	20,606
Ví dụ 8	0,007	8,47	1240	6,83	5,46	1323	1169	20,17	Phản chuyển tiếp	2,95	19,303
Ví dụ 9	0,003	8,47	1240	6,83	5,46	1323	1199	20,25	Phản chuyển tiếp	2,92	19,227
Ví dụ 10	0,008	8,40	1277	6,58	4,94	1315	1235	22,88	Lớp bọc ngoài không kể phản chuyển tiếp	3,50	17,771
Ví dụ 11	0,009	8,30	1272	6,53	4,76	1316	1217	21,54	Lớp bọc ngoài không kể phản chuyển tiếp	3,30	17,848
Ví dụ 12	0,007	8,46	1287	6,57	4,78	1312	1241	22,84	Lớp bọc ngoài không kể phản chuyển tiếp	3,47	18,308
Ví dụ so sánh 4	0,011	8,40	1276	6,58	4,94	1315	1235	20,32	Lớp bọc ngoài không kể phản chuyển tiếp	3,08	17,771

11/11

Fig.10

	Đơn vị	Khoảng ưu tiên	Khoảng ưu tiên hơn
a	μm	3,65 ~ 4,50	3,70 ~ 4,35
b	μm	15,5 ~ 22,5	18,0 ~ 22,0
Δ_{core}	%	0,32 ~ 0,40	0,34 ~ 0,38
Δ_{dep}	%	-0,030 ~ -0,110	-0,040 ~ -0,090
$\Delta_{\text{core}} - \Delta_{\text{dep}}$	%	0,36 ~ 0,46	0,40 ~ 0,46