



(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)



1-0033238

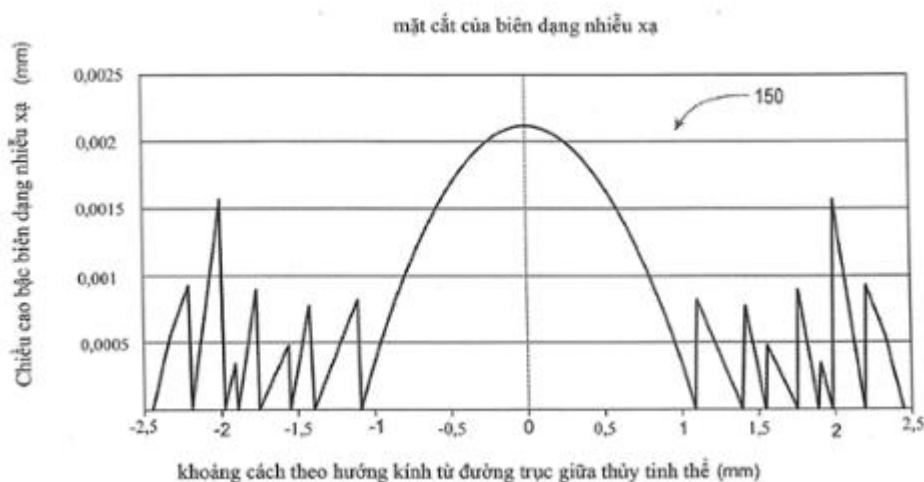
(51)¹⁹ A61F 2/16

(13) B

(21) 1-2019-02011 (22) 15/11/2017
(86) PCT/US2017/061765 15/11/2017 (87) WO 2018/093873 24/05/2018
(30) 15/353,381 16/11/2016 US; 15/727,019 06/10/2017 US
(45) 25/09/2022 414 (43) 26/08/2019 377A
(73) TATVUM LLC (US)
10 Fallbrook, Irvine, California 92604, United States of America
(72) TIWARI, Nivedan (US); VENKATESWARAN, Krishnakumar (US).
(74) Văn phòng Luật sư Ân Nam (ANNAM IP & LAW)

(54) THỦY TINH THỂ NỘI NHÃN CẦU MỘT TIÊU CỰ VÀ CỤM THỦY TINH THỂ NỘI NHÃN CẦU MỘT TIÊU CỰ

(57) Sáng chế đề cập đến thủy tinh thể nội nhãn cầu một tiêu cự, bao gồm phần tử quang có bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau, tạo ra năng suất khúc xạ cơ sở, ít nhất một trong số bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau được bố trí trên đó biên dạng bao gồm các bậc có các chiều cao được xác định bằng cách kết hợp ba biên dạng nhiễu xạ cầu thành. Các biên dạng nhiễu xạ tương ứng với các năng suất (p_1 , p_2 và p_3), các năng suất này là khác với nhau và mỗi năng suất là năng suất dương nhỏ hơn khoảng $1D$ hoặc khoảng $1,25D$. Mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiễu xạ có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng $0,6$ đến $1,2$ lần 2π đối với ánh sáng 546 nm. Biên dạng đã được kết hợp được xác định bởi hàm số: $z = \max$ (biên dạng nhiễu xạ (p_1), biên dạng nhiễu xạ (p_2), biên dạng nhiễu xạ (p_3)), trong đó $p_3 > p_2 > p_1$. Ngoài ra, sáng chế còn đề cập đến cụm thủy tinh thể nội nhãn cầu một tiêu cự.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến thủy tinh thể nội nhãn cầu, và cụ thể là thủy tinh thể nội nhãn cầu có chiều sâu tiêu cự kéo dài.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Thủy tinh thể nội nhãn cầu (IOLs) bao gồm phần tử quang và, có thể, một hoặc nhiều phần tiếp xúc để định vị phần tử quang bên trong mắt là đã biết. Một loại IOL tạo ra thị trường có thị trường xa, thị trường trung bình và/hoặc thị trường gần là các thủy tinh thể đa tiêu. Các thủy tinh thể đa tiêu thông thường thường khớp vừa vào một trong số hai kính.

Kính thứ nhất của các thủy tinh thể đa tiêu được gọi là khúc xạ đa tiêu, trong đó thị giác được chia thành nhiều vùng khúc xạ và ánh sáng từ vùng nhất định được hướng đến chỉ một trong số các tiêu điểm nhờ chỉ sử dụng năng suất khúc xạ. Các vùng có thể lệch tâm qua tâm quang học hoặc bất đối xứng. Các thủy tinh thể đa tiêu khúc xạ tạo ra hai hoặc nhiều tiêu điểm để tạo ra thị trường xa, trung bình và/hoặc gần.

Kính thứ hai của các thủy tinh thể đa tiêu được gọi là đa tiêu nhiều xạ. Các thủy tinh thể như vậy bao gồm phần tử nhiều xạ có các vùng theo hướng kính để truyền ánh sáng mà nằm ngoài pha với ánh sáng được truyền qua các vùng liền kề (tức là, có sự trễ pha giữa các vùng liền kề). Giống như các thủy tinh thể đa tiêu khúc xạ, các thủy tinh thể đa tiêu nhiều xạ tạo ra hai hoặc nhiều tiêu điểm để tạo ra thị trường xa, trung bình và/hoặc gần. Ở các thủy tinh thể đa tiêu nhiều xạ, các đường bao theo hướng kính để tách các vùng được chọn để đạt được các hiệu năng quang học riêng biệt.

Cả hai công nghệ thủy tinh thể đa tiêu khúc xạ và đa tiêu nhiều xạ để mở rộng thị trường tạo ra các IOL có các tiêu điểm riêng biệt trong đó thị trường là sắc nét, và các vùng có tiêu cự kém hơn giữa các tiêu điểm. Một ví dụ kinh điển về công thức để đo hiệu suất của hệ thống nhìn được biết là Chức năng điều chuyển chế độ (thường được gọi là "MTF": Modulation Transfer Function). MTF của hệ thống thị giác là phép đo của tỷ lệ tương phản của vật thể vào mà hệ thống phần tử quang có thể duy trì khi hình ảnh của đối tượng được tạo ra. MTF có thể được đo là hàm số của tần số không gian (ví dụ, hai đường trên một mm ở võng mạc). Nói chung, các trị số MTF cho hệ thống thị

giác định trước giảm theo sự gia tăng của tần số không gian.

Đối với tần số không gian định trước, mỗi tiêu điểm của IOL (tức là, tiêu cự gần, trung bình hoặc xa) thể hiện chính nó ở đồ thị MTF tiêu cự xuyên như một đỉnh trên các trị số MTF, với các vùng của các trị số MTF thấp giữa các đỉnh. Đối với người mang IOL riêng biệt, phạm vi của các trị số MTF thấp có thể đủ lớn để cho phép thị trường tùy thuộc vào độ rộng và độ phẳng của các đỉnh MTF mà xảy ra đối với cá nhân do quang sai của mắt của cá nhân đó và sự đáp ứng đồng tử của họ.

Mặc dù các thủy tinh thể đa tiêu được biết là tạo ra độ tăng có lợi nằm trong khoảng thị trường của người mang, tỷ lệ đáng kể người mang IOLs sử dụng các kỹ thuật đa tiêu này vốn đã biết là chịu hiện tượng nhảm lẫn và ảo ảnh (tức là, các ảnh hưởng không mong muốn trên hình ảnh tạo bởi các mắt giả) do sự có mặt của nhiều hình ảnh được tập trung sắc nét được tạo ra đồng thời trên các võng mạc của họ.

Như một sự thay thế cho các thủy tinh thể đa tiêu, các kỹ thuật để mở rộng các chiều sâu tiêu cự của các IOL một tiêu cự (tức là, không có nhiều đỉnh trong đường cong MTF) để thu được thị trường xa cũng như thị trường gần hơn đã được đề xuất. Các kỹ thuật IOL để tạo ra chiều sâu tiêu cự mở rộng (EDOF) bao gồm: a) tạo ra IOL có vùng bổ sung khúc xạ giữa; b) tạo ra IOL có quang sai hình cầu dương hoặc âm có độ phóng đại cao; và c) tạo ra IOL khúc xạ cơ sở có biên dạng nhiễu xạ bổ sung năng suất tương đối thấp (tức là, bổ sung nhiễu xạ nhỏ hơn hoặc bằng 1,5 diop). Mỗi kỹ thuật mở rộng chiều sâu tiêu cự này có sự cải thiện cho chất lượng nhìn của người mang.

Theo cách thông thường, các biên dạng bổ sung nhiễu xạ năng suất thấp được chọn sao cho độ trễ pha giữa các vùng liên kề bằng 0,5 chiều dài sóng của chiều dài sóng thiết kế (ví dụ, xấp xỉ 550 nm cho ánh sáng nhìn thấy). Một ví dụ về thủy tinh thể này được mô tả trong patent Mỹ số 8,747,466. Các thủy tinh thể như vậy có xu hướng tạo ra mức đa tiêu cao, sao cho ánh sáng được chia đều giữa tiêu cự trung tâm tương ứng với biên dạng nhiễu xạ thứ tự điểm không, và tiêu cự gần và xa tương ứng với thứ tự +1 và -1 của dạng nhiễu xạ, một cách tương ứng. Các kết cấu thủy tinh thể như vậy có xu hướng tạo ra nhiều đỉnh trong MTF. Tuy nhiên, ngay cả khi IOL được tạo ra sao cho MTF được làm phẳng để loại bỏ đỉnh, thiết kế này có xu hướng dẫn ánh sáng một cách đối xứng qua tiêu cự giữa đến mỗi tiêu điểm trong số các tiêu điểm gần và xa, dẫn đến việc sử dụng không hiệu quả năng lượng ánh sáng, không có đỉnh ở thị trường xa, và hiệu suất thủy tinh thể có thể bị suy giảm.

Theo các kỹ thuật chế tạo nhiễu xạ khác, độ trễ pha giữa các vùng liền kề được giảm đến trị số giữa 0,4 và 0,5 chiều dài sóng. Thiết kế này có xu hướng làm giảm tính hai chiều của thủy tinh thể bằng cách làm giảm tỷ lệ phần trăm của ánh sáng được đưa đến tiêu cự gần trong ánh sáng thích hợp được đưa đến tiêu cự xa do người mang các thủy tinh thể đa tiêu có xu hướng thích hiệu suất tầm nhìn đỉnh cho thị trường xa. Các thủy tinh thể như vậy có cùng các nhược điểm với các thủy tinh thể nhiều hơn hai tiêu cự do sự có mặt của nhiều đỉnh trong MTF.

Do đó có nhu cầu thay thế các kỹ thuật để mở rộng chiều sâu tiêu cự của các thủy tinh thể nhãn khoa không có nhiều đỉnh trong các đường cong MTF của các thủy tinh thể được tạo ra và sử dụng hiệu quả hơn năng lượng ánh sáng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo các khía cạnh của sáng chế, để nâng hoặc giảm khả năng xảy ra hiện tượng ảo ảnh trên thủy tinh thể EDOF, đã xác định được rằng tốt hơn là sử dụng IOL một tiêu cự có tiêu cự tốt nhất cho thị trường xa và chiều sâu tiêu cự mở rộng về phía dải trung bình. Đường cong MTF tiêu cự xuyên của “IOL một tiêu cự có chiều sâu tiêu cự mở rộng” này được tạo ra sao cho có thể một đỉnh (tức là, một đỉnh cực đại cục bộ) tương ứng với thị trường xa (cũng tương ứng với đỉnh cực đại tuyệt đối) và, để tăng dương năng suất từ đỉnh đơn cực đại (tức là, phía cận thị có tiêu cự tốt nhất), không có các đỉnh bổ sung giữa đỉnh đơn và điểm không thứ nhất (được mô tả dưới đây) trong MTF. Có mức hữu dụng trực quan giảm của MTF mở rộng theo hướng cận thị từ đỉnh. Theo các phương án thực hiện này, MTF không tăng cho đến khi điểm không thứ nhất trong MTF đạt được. Theo một số phương án thực hiện, tốt hơn là, mục tiêu giảm hiện tượng ảo ảnh mà MTF được giảm một cách đơn điệu điểm không thứ nhất trong MTF đạt được.

Để đạt được hiệu quả này, các phương án thực hiện của sáng chế bao gồm thủy tinh thể khúc xạ có biên dạng nhiễu xạ được bố trí trên đó. Biên dạng nhiễu xạ bao gồm sự kết hợp của ít nhất ba (tức là, ba hoặc nhiều) biên dạng nhiễu xạ, mỗi biên dạng có năng suất nhỏ hơn 1 D. Các biên dạng nhiễu xạ có năng suất thị giác khác nhau. Ba biên dạng này được kết hợp bước đưa tối đa của ba biên dạng này ở mỗi vị trí theo hướng kính trên thủy tinh thể. Để tạo điều kiện thuận lợi cho việc mở rộng năng lượng dọc theo chiều sâu của tiêu cự, các chiều cao bậc của các biên dạng nhiễu xạ có thể được chọn để có độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước (có cùng chiều sâu với chiều cao bậc đã biết), bằng 0,6 đến 1,2 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm, mà liên hệ với kỹ thuật kết hợp

"tối đa" các biên dạng nhằm mở rộng ánh sáng dọc theo chiều sâu của tiêu cự.

Một khía cạnh của sáng chế đề xuất thủy tinh thể nội nhẵn cầu bao gồm phần tử quang có bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau mà tạo ra năng suất khúc xạ cơ sở. Ít nhất một trong số bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau được bố trí trên đó biên dạng đã được kết hợp bao gồm các bậc có các chiều cao được xác định bằng cách kết hợp ba biên dạng nhiễu xạ liên tiếp. Các biên dạng nhiễu xạ cấu thành tương ứng với năng suất p_1 , p_2 và p_3 , năng suất là khác với nhau và mỗi năng suất là năng suất dương nhỏ hơn khoảng $1D$. Mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiễu xạ cấu thành có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha tương đối với chất lưu có nước của $0,6$ đến $1,2$ lần 2π đối với ánh sáng 546 nm. Biên dạng đã được kết hợp được xác định bởi hàm số $z = \max$ (biên dạng nhiễu xạ (p_1), biên dạng nhiễu xạ (p_2), biên dạng nhiễu xạ (p_3)), trong đó $p_3 > p_2 > p_1$.

Theo một số phương án thực hiện, biên dạng đã được kết hợp được bố trí hoàn toàn trên bề mặt ở phía trước của thủy tinh thể. Biên dạng đã được kết hợp có thể được bố trí từng phần trên cả bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau của thủy tinh thể. Biên dạng đã được kết hợp có thể là đối xứng quay.

Theo một số phương án thực hiện, các vùng của thủy tinh thể tạo bởi ba biên dạng cấu thành là dạng thủy tinh thể hội tụ.

Theo một số phương án thực hiện, mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiễu xạ cấu thành có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng $0,8$ đến $1,0$ lần 2π đối với ánh sáng 546 nm.

Vùng giữa có thể có bề mặt khúc xạ có dạng độc lập với các biên dạng nhiễu xạ cấu thành. Theo một số phương án thực hiện, tỷ lệ của p_1 với p_2 bằng khoảng $0,6$, và tỷ lệ của p_1 với p_3 bằng khoảng $0,4$. Theo một số phương án thực hiện, tỷ lệ của p_1 với p_2 bằng khoảng $0,67$, và tỷ lệ của p_1 với p_3 bằng khoảng $0,31$. Theo một số phương án thực hiện, chiều sâu tiêu cự lớn hơn $0,85$ điop.

Khía cạnh khác của sáng chế đề xuất thủy tinh thể nội nhẵn cầu bao gồm phần tử quang có bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau mà tạo ra năng suất khúc xạ cơ sở. Ít nhất một trong số bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau được bố trí trên đó biên dạng đã được kết hợp bao gồm các bậc có các chiều cao được xác định bằng cách kết hợp ba biên dạng nhiễu xạ liên tiếp. Các biên dạng nhiễu xạ cấu thành tương ứng với năng suất p_1 , p_2 và p_3 , năng suất là khác với nhau và mỗi năng suất là năng suất dương nhỏ hơn khoảng $1D$. Mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiễu xạ cấu thành có các chiều cao

bậc gây ra độ trễ pha tương đối với chất lưu có nước bằng 0,6 đến 1,2 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm. Biên dạng đã được kết hợp được xác định bởi hàm số $z = \max$ (biên dạng nhiễu xạ (p_1), biên dạng nhiễu xạ (p_2), biên dạng nhiễu xạ (p_3)), trong đó $p_3 > p_2 > p_1$. Các phương án thực hiện, theo khía cạnh này có thể có các phương án thực hiện, như đã được mô tả bên trên.

Khía cạnh khác của sáng chế đề xuất một cụm thủy tinh thể nội nhãn cầu, bao gồm ít nhất ba thủy tinh thể, mỗi thủy tinh thể được tạo kết cấu theo các khía cạnh hoặc phương án thực hiện đã được mô tả bên trên. Mỗi thủy tinh thể trong số các thủy tinh thể trong cụm có năng suất điop khúc xạ cơ sở khác nhau so với nhau. Dải năng suất khúc xạ cơ sở bằng ít nhất 10 điop trên cụm các thủy tinh thể, và biên dạng đã được kết hợp của mỗi thủy tinh thể trong số ít nhất ba thủy tinh thể bằng biên dạng của mỗi một trong số các thủy tinh thể khác trong cụm.

Thuật ngữ “chiều sâu tiêu cự” được định nghĩa trong bản mô tả này là dải tiêu cự của IOL, được đo từ đỉnh cực đại tuyệt đối MTF tiêu cự xuyên của nó về phía hướng cận thị, trên dải mà từ đó MTF ở 50 cặp đường trên một mm qua khẩu độ 3mm trong mẫu mắt 1 theo tiêu chuẩn ISO 11979-2 2014 lớn hơn 0,2 MTF đơn vị. Các nghiên cứu lâm sàng sử dụng các IOL đa tiêu, hơi nhỏ hơn 0,2 MTF đơn vị được đo ở 50 lp/mm ở một trong số các tiêu điểm của chúng thể hiện rằng 50% bệnh nhân có thị lực nằm trong khoảng từ 20/28 và 20/20 và 40% bệnh nhân có thị lực 20/20 hoặc tốt hơn và 90% bệnh nhân kết hợp có thị lực tốt hơn 20/28. Sự phát hiện này dẫn đến kết luận rằng phần lớn bệnh nhân sẽ có thị trường 20/28 hoặc tốt hơn với 0,2 MTF đơn vị ở 50 lp/mm. Dựa trên dữ liệu lâm sàng này, tiêu chuẩn cho chiều sâu tiêu cự của IOL có thể được xác định là dải xung quanh tiêu cự IOL trong đó trị số MTF 50 lp/mm lớn hơn 0,2 MTF đơn vị. Đường kính con ngươi 3 mm được giả định cho các tính toán bên trên và các tính toán khác trong bản mô tả này.

Đã được đánh giá cao rằng, trong một số trường hợp, để tạo khác biệt hoàn toàn hệ thống thị giác (ví dụ, hệ thống mắt) MTF có thể cần được đo dọc theo hai đường trục vuông góc. Theo các ví dụ được mô tả ở đây, sự đối xứng quay được giả định. Tuy nhiên, đã được đánh giá cao rằng các thủy tinh thể bất đối xứng có thể kết hợp các nguyên lý thiết kế theo các khía cạnh của sáng chế và nằm trong phạm vi của các khía cạnh của sáng chế.

Khía cạnh khác của sáng chế đề xuất thủy tinh thể nội nhãn cầu một tiêu cự, bao

gồm phần tử quang có bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau để tạo ra năng suất khúc xạ cơ sở, ít nhất một trong số bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau được bố trí trên đó biên dạng bao gồm nhiều xạ các bậc. Khi thủy tinh thể được đặt trong mắt mô hình thực, chức năng điều chuyển chế độ tiêu cự xuyên (MTF) của mô hình mắt, đối với tần số không gian bằng 50 lp/mm, có đỉnh đặc trưng bởi độ dốc bằng không, và MTF có dải kéo dài theo hướng cận thị từ đỉnh mà qua đó MTF có trị số lớn hơn 0,2 MTF đơn vị, dải này lớn hơn 1,0D, đỉnh là đỉnh duy nhất trong MTF trước điểm không thứ nhất trong MTF.

Thuật ngữ “phía trước”, khi được sử dụng trong bản mô tả này tham chiếu đến thủy tinh thể nội nhãn cầu, là nói đến đặc điểm trên thủy tinh thể có xu hướng ở phía theo hướng của giác mạc của mắt trong đó thủy tinh thể được cấy ghép, và thuật ngữ “phía sau” là nói đến đặc điểm trên thủy tinh thể có xu hướng quay về phía võng mạc của mắt.

Chiều dài sóng của ánh sáng được thể hiện bằng nanomet (nm) là nói đến chiều dài sóng khi ánh sáng được lan truyền trong chân không. Ví dụ, ánh sáng 546 nm là nói đến ánh sáng có chiều dài sóng bằng 546 nm khi lan truyền trong chân không mặc dù chiều dài sóng của ánh sáng sẽ lệch với 546 nm khi được lan truyền trong thủy tinh thể hoặc chất lưu của mắt do chỉ số khúc xạ của thủy tinh thể và chất lưu.

Thuật ngữ “một tiêu cự” được sử dụng trong bản mô tả này là nói đến thủy tinh thể có một đỉnh (tức là, một đỉnh cực đại cục bộ; và một đỉnh cũng là đỉnh cực đại tuyệt đối) trong MTF trước điểm không thứ nhất trong MTF đạt được để tăng dương năng suất.

Thuật ngữ “điểm không thứ nhất” được định nghĩa trong bản mô tả này có nghĩa là cực tiểu cục bộ thứ nhất sau đỉnh cực đại tuyệt đối (tức là, tiêu cự tốt nhất) trên đồ thị MTF tiêu cự xuyên, ở phía cận thị, cực tiểu cục bộ có trị số nhỏ hơn 0,1 MTF đơn vị.

Các phép đo hiệu suất (ví dụ, dạng MTF tiêu cự xuyên, bao gồm chiều sâu tiêu cự) của thủy tinh thể như được mô tả ở đây, cũng như để xác định hiệu suất của các thủy tinh thể khác và phạm vi của các điểm yêu cầu bảo hộ, được hoặc sẽ được tạo bằng cách định vị thủy tinh thể trong mắt mô hình 1 theo tiêu chuẩn ISO 11979-2 2014.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Bản chất và chế độ hoạt động của thủy tinh thể theo sáng chế sẽ được mô tả đầy

đủ hơn trong phần mô tả chi tiết dưới đây có tham chiếu đến các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Fig.1 là hình vẽ mặt cắt ngang dạng sơ đồ thể hiện ví dụ về phân tử quang của thủy tinh thể nội nhãn cầu bao gồm biên dạng nhiều xạ kết hợp theo các khía cạnh của sáng chế, trong đó biên dạng nhiều xạ được phóng to để tạo điều kiện thuận lợi cho việc mô tả;

Fig.2 là hình vẽ mặt cắt ngang đối xứng dọc trục thể hiện biên dạng nhiều xạ của phân tử quang trên Fig.1 là hàm số của khoảng cách theo hướng kính, biên dạng nhiều xạ được tách ra khỏi bề mặt khúc xạ;

Fig.3 là hình vẽ mặt cắt thể hiện các biên dạng nhiều xạ cấu thành mà được kết hợp để tạo ra biên dạng nhiều xạ kết hợp trên Fig.2;

Fig.4 là đồ thị tiêu cự xuyên MTF (đối với 50 lp/mm ở võng mạc) cho IOL trên Fig.1 và IOL khúc xạ một tiêu cự mà không có biên dạng nhiều xạ kết hợp một cách tương ứng, và thể hiện bản chất một tiêu cự cũng như năng lượng lan truyền mở rộng của các thủy tinh thể theo các khía cạnh của sáng chế;

Fig.5 là đồ thị tiêu cự xuyên MTF (đối với 50 lp/mm ở võng mạc) thể hiện các ví dụ về các thủy tinh thể theo các khía cạnh của sáng chế trong đó mỗi thủy tinh thể được chọn để có độ trễ pha η định trước hoặc nhiều độ trễ pha khác nhau, như một độ trễ pha cho mỗi biên dạng cấu thành; và

Fig.6 là hình vẽ dạng sơ đồ thể hiện mắt người sau khi thủy tinh thể tự nhiên được lấy ra và thủy tinh thể nội nhãn cầu theo các khía cạnh của sáng chế được phẫu thuật cấy ghép trong túi nang của mắt.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tác giả sáng chế đã khám phá ra một kết quả không ngờ của sự kết hợp nhiều biên dạng nhiều xạ năng suất thấp tương ứng với năng suất bổ sung khác nhau nhờ sử dụng "hàm cực đại" để tạo ra biên dạng nhiều xạ để sử dụng với thủy tinh thể nội nhãn cầu. Các phương án thực hiện của các thủy tinh thể như vậy tạo ra cho thủy tinh thể chiều sâu tiêu cự có một đỉnh và sự mở rộng đáng kể về năng lượng quang dọc theo đường trục quang của thủy tinh thể để tạo ra chiều sâu tiêu cự mở rộng có ích cho tầm nhìn mà không có hoặc giảm khả năng xảy ra hiện tượng ảo ảnh.

Fig.1 là hình vẽ mặt cắt ngang dạng sơ đồ thể hiện ví dụ về phân tử quang 100

của thủy tinh thể nội nhẵn cầu (được thể hiện trên Fig.6) bao gồm biên dạng nhiều xạ kết hợp 150 theo các khía cạnh của sáng chế. Phần tử quang 100 có bề mặt ở phía trước 102 và bề mặt ở phía sau 104, tạo ra năng suất khúc xạ (thường được gọi là “năng suất cơ sở” của thủy tinh thể). Bề mặt khúc xạ 102, 104 của thủy tinh thể nội nhẵn cầu có thể là hoặc dạng cầu hoặc dạng không cầu, và có thể là dạng hai mặt lồi, như được thể hiện trên Fig.1, hoặc có thể là dạng phân kỳ, dạng mặt khum hoặc dạng thích hợp khác. Trị số bằng không dọc theo đường trục ngang tương ứng với đường trục quang OA của thủy tinh thể. Biên dạng nhiều xạ kết hợp 150 có thể được áp dụng cho thủy tinh thể khúc xạ cơ sở có trị số điop dương hoặc âm thích hợp bất kỳ hoặc trị số điop bằng không.

Theo phương án thực hiện được minh họa, bề mặt ở phía trước 102 có biên dạng bao gồm các bậc có các chiều cao $h_1, h_2 \dots h_n$ sinh ra từ sự kết hợp ba biên dạng nhiều xạ chồng lên nhau. Các mô tả chi tiết hơn về việc tạo ra biên dạng nhiều xạ kết hợp được đưa ra bên dưới.

Mỗi biên dạng trong số ba biên dạng nhiều xạ tương ứng với năng suất tương ứng p_1, p_2 và p_3 . Năng suất có các biên độ khác nhau so với nhau. Theo một số phương án thực hiện, mỗi năng suất có năng suất dương nhỏ hơn khoảng 1D. Theo một số phương án trong số các phương án thực hiện, mỗi năng suất có năng suất dương nhỏ hơn khoảng 1,25D. Mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiều xạ có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng 0,6 đến 1,2 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm. Biên dạng đã được kết hợp được xác định bởi hàm số:

$$z = \max (\text{biên dạng nhiều xạ } (p_1), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_2), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_3))$$

trong đó $p_3 > p_2 > p_1$.

Mặc dù theo phương án thực hiện được minh họa biên dạng nhiều xạ kết hợp được bố trí trên bề mặt ở phía trước của thủy tinh thể, biên dạng nhiều xạ kết hợp có thể được định vị hoàn toàn trên hoặc bề mặt ở phía sau hoặc bề mặt ở phía trước (như được thể hiện trên Fig.1). Theo cách khác, biên dạng đã được kết hợp có thể được định vị từng phần ở cả hai phía khúc xạ của phần tử quang. Ví dụ, biên dạng đã được kết hợp có thể được chia thành nhiều đoạn sử dụng các đường song song với đường trục quang. Mỗi đoạn của biên dạng có thể được đặt trên bề mặt ở phía trước của thủy tinh thể hoặc bề mặt ở phía sau, đồng thời duy trì vị trí theo hướng kính tương ứng của nó giữa các đường song song định trước.

Sẽ được đánh giá cao rằng các chiều cao bậc nhiễu xạ trên Fig.1 được phóng đại đáng kể tương đối với phần còn lại của phần tử quang 100 cho dễ nhìn. Ngoài ra, độ sắc nét của các bậc được phóng đại cho mục đích minh họa. Sẽ được đánh giá cao rằng một số góc tròn của các bậc có thể xuất hiện do quá trình sản xuất. Việc làm trơn này có thể là do, ví dụ, thủy tinh thể hoặc máy đúc thủy tinh thể hoặc các quá trình đánh bóng thủy tinh thể tiếp theo. Sự làm trơn này không được xem là làm giảm hiệu suất thủy tinh thể trừ khi sự làm trơn quá mức khiến làm giảm không thể chấp nhận được chiều sâu tiêu cự các thủy tinh thể hoặc tính đơn điệu.

Các mô tả chi tiết hơn của IOL bao gồm phần tử quang như được mô tả ở đây và định vị IOL này vào mắt được đưa ra tham chiếu đến Fig.6 dưới đây.

Fig.2 thể hiện biên dạng nhiễu xạ kết hợp 150 của phần tử quang trên Fig.1 một cách chi tiết hơn. Biên dạng được minh họa là chiều cao biên dạng là hàm số của vị trí theo hướng kính, biên dạng nhiễu xạ được tách ra khỏi bề mặt khúc xạ 102 (tức là, điểm không trên đường trục thẳng đứng tương ứng với bề mặt ở phía trước của thủy tinh thể khúc xạ cơ sở). Sẽ được đánh giá cao rằng biên dạng nhiễu xạ trên Fig.2 là đối xứng quay qua đường trục quang OA. Mặc dù biên dạng có tám vùng, số lượng các vùng thích hợp bất kỳ có thể được sử dụng.

Fig.3 thể hiện các biên dạng nhiễu xạ riêng biệt liên tiếp tương ứng với năng suất p_1 , p_2 và p_3 , một cách tương ứng mà được kết hợp để tạo ra biên dạng nhiễu xạ kết hợp trên Fig.2. Biên dạng nhiễu xạ kết hợp trên Fig.2 được tạo ra bằng cách kết hợp ba biên dạng kiểu hội tụ riêng biệt. Ba biên dạng nhiễu xạ riêng biệt này tương ứng với p_1 , p_2 , p_3 được xác định theo các công thức 1(a), 1(b) and 1(c), một cách tương ứng.

$$h_1(r) = \frac{\lambda\eta}{(n_l - n_m)} \left\{ \left(\frac{r^2}{2F_1\lambda} \right) - m_1 \right\} - \text{Công thức 1(a)}$$

$$h_2(r) = \frac{\lambda\eta}{(n_l - n_m)} \left\{ \left(\frac{r^2}{2F_2\lambda} \right) - m_2 \right\} - \text{Công thức 1(b)}$$

$$h_3(r) = \frac{\lambda\eta}{(n_l - n_m)} \left\{ \left(\frac{r^2}{2F_3\lambda} \right) - m_3 \right\} - \text{Công thức 1(c)}$$

trong đó:

r là khoảng cách từ đường trục quang,

λ là chiều dài sóng thiết kế của ánh sáng trong chân không. Trong các ví dụ trong bản mô tả này, chiều dài sóng được chọn bằng 546 nm trong đó tế bào nhạy ánh sáng trong mắt người có độ nhạy cao nhất,

n_1 và n_m là các chỉ số khúc xạ của vật liệu làm thủy tinh thể và môi trường xung quanh, một cách tương ứng, ở chiều dài sóng thiết kế bằng 546 nm. Trong các ví dụ trong bản mô tả này, trị số chỉ số thủy tinh thể khúc xạ và trị số chỉ số khúc xạ thủy dịch bằng 1,5404 đối với n_1 và 1,336 đối với n_m , một cách tương ứng. Theo ví dụ trên Fig.3, vật liệu làm thủy tinh thể là vật liệu acrylic kỵ nước. Các vật liệu khác có thể được sử dụng để đạt được các thiết kế theo các khía cạnh của sáng chế, như acrylic ưa nước, polymetyl-metacrylat (PMMA) hoặc silicon trong đó các chiều cao vùng được chọn để đạt được các độ trễ pha thích hợp.

η là hằng số biểu thị phân số của độ trễ pha 2π để khiến cho ánh sáng đi qua vật liệu làm thủy tinh thể tương đối với ánh sáng giống nhau đi qua chiều dày giống nhau trong môi trường xung quanh (ví dụ, chất lưu có nước). Trị số bằng 0,8 đối với η đã được sử dụng để thu được các biên dạng nhiễu xạ trên Fig.3. Mặc dù theo một số phương án thực hiện (như các phương án thực hiện theo ví dụ trên Fig.3) η là tương tự cho tất cả các biên dạng tạo nên biên dạng đã được kết hợp, trị số của η đối với biên dạng cấu thành của biên dạng đã được kết hợp có thể khác nhau hoặc khác tất cả biên dạng liên tục khác trong biên dạng đã được kết hợp.

F_1 , F_2 và F_3 là chiều dài tiêu cự tương ứng với năng suất p_1 , p_2 , và p_3 được chọn để tạo ra các biên dạng $h_1(r)$, $h_2(r)$, và $h_3(r)$ một cách tương ứng. F_1 , F_2 và F_3 được đưa ra theo các hàm thuận nghịch của năng suất p_1 , p_2 và p_3 một cách tương ứng. Đối với các biên dạng trên Fig.3, các trị số của p_1 , p_2 và p_3 bằng 0,35D, 0,55D và 0,9D.

m_1 , m_2 và m_3 mỗi đại lượng có các trị số nguyên 0, 1, 2, ... biểu thị số vùng nhiễu xạ. 0 biểu thị vùng giữa.

Mặc dù các phương án thực hiện được mô tả ở đây sử dụng các biên dạng hội tụ, sẽ được đánh giá cao rằng các biên dạng khác có thể được sử dụng. Ví dụ, biên dạng thẳng như gần tuyến tính với dạng hội tụ, hoặc các dạng tương tự thích hợp khác có thể được sử dụng. Ngoài ra, mặc dù ví dụ bao gồm ba biên dạng cấu thành theo biên dạng

đã được kết hợp, ba hoặc nhiều biên dạng liên tục có thể được sử dụng để tạo ra biên dạng đã được kết hợp. Theo các phương án thực hiện có bốn hoặc nhiều biên dạng liên tục, biên dạng liên tục bổ sung thứ tư và bất kỳ sẽ có năng suất khác nhau so với tất cả các biên dạng khác, sẽ có năng suất nhỏ hơn khoảng 1 điop (hoặc nhỏ hơn khoảng 1,25 điop), và sẽ được kết hợp với các biên dạng khác nhờ sử dụng hàm cực đại như được mô tả trên đây.

Các đường bao vùng của các vùng của biên dạng được thể hiện trên Fig.3 được đưa ra theo công thức 2:

$$r_m^2 + F^2 = \{(m+1)\lambda + F\}^2 - \text{Công thức 2}$$

trong đó:

m biểu thị số lượng vùng,

F là chiều dài tiêu cự (như được biểu thị bên trên),

r_m là đường bao vùng theo hướng kính cho số lượng vùng m, và

λ là chiều dài sóng của ánh sáng trong chân không.

Các biên dạng nhiễu xạ cấu thành được kết hợp sử dụng hàm cực đại như được thể hiện trong công thức 3 để tạo ra biên dạng nhiễu xạ kết hợp được thể hiện trên Fig.2.

$$z(r) = \text{Max}\{h_1(r), h_2(r), h_3(r)\} - \text{Công thức 3}$$

Các trị số của $z(r)$ mà tạo nên biên dạng đã được kết hợp có trị số cực đại (tức là, chiều dày cực đại) của $h_1(r)$; $h_2(r)$, và $h_3(r)$, ở mỗi vị trí theo hướng kính r. Như được thể hiện trên FIG.3, các chiều dày được đo dưới dạng độ lệch từ điểm không theo hướng âm. Tuy nhiên, sự biểu diễn thuận tiện bất kỳ của chiều dày có thể được sử dụng.

Chiều sâu của biên dạng liên tục trên Fig.3 bằng 2,136 micron, mà chuyển đổi thành một pha được truyền ngay khi truyền khoảng 0,8 chiều dài sóng, hoặc khoảng 288 độ trong pha. Biên dạng parabol kết hợp với dạng hội tụ mở rộng qua tất cả các vùng, với độ bất liên tục bậc ở mép của mỗi vùng.

Biên dạng đã được kết hợp tạo thành trên Fig.2 được xếp chồng lên bề mặt khúc xạ cơ sở để tạo ra phần tử quang được thể hiện trên Fig.1. Dạng xếp chồng được tạo ra bước bổ sung chiều cao đối xứng dọc của thủy tinh thể khúc xạ với chiều cao của biên dạng nhiễu xạ kết hợp ở mỗi vị trí theo hướng kính. Theo phương án thực hiện làm ví dụ, thủy tinh thể khúc xạ cơ sở bằng 20 điop, thủy tinh thể hai mặt lồi có độ phi hình cầu để hầu như loại bỏ quang sai hình cầu. Thông số thủy tinh thể là như sau 1) bán kính

bề mặt ở phía trước bằng 20,0 mm với hệ số thứ tự thứ tư phi hình cầu bằng $-1,58 \times 10^{-4}$, 2) bán kính bề mặt IOL phía sau bằng 20,807 mm, và 3) chiều dày tâm quang bằng 0,553 mm.

Tác giả sáng chế lưu ý rằng các tỷ lệ của p_1 với p_2 và p_1 với p_3 bằng khoảng 0,6 và 0,4 một cách tương ứng, tạo ra chiều sâu tiêu cự trong đó MTF dốc trơn xuống từ cực đại mà không có cực đại cục bộ bổ sung giữa đỉnh và điểm không thứ nhất trong đường cong MTF. Mặc dù theo các phương án thực hiện được minh họa, năng suất bằng 0,35D, 0,55D và 0,9D, năng suất khác trong đó p_1 với p_2 bằng khoảng 0,6, và tỷ lệ của p_1 với p_3 bằng khoảng 0,4, và năng suất nhỏ hơn 1 điop có thể được chọn. Các tỷ lệ khác của p_1 với p_2 và p_1 với p_3 bằng khoảng 0,67 và 0,31 một cách tương ứng, cũng được phát hiện là tạo ra chiều sâu tiêu cự trong đó MTF dốc trơn xuống từ cực đại mà không có cực đại cục bộ bổ sung giữa đỉnh và điểm không thứ nhất trong đường cong MTF. Ví dụ, $p_1 = 0,39D$, $p_2 = 0,58D$ và $p_3 = 1,25D$ có thể được sử dụng.

Đã được đánh giá cao rằng, theo các phương án thực hiện đã được minh họa, các vùng được lan rộng để tạo ra đường cong MTF bất đối xứng, có lượng năng lượng lớn hơn được chuyển đến giác mạc/phía trước của thủy tinh thể. Mặc dù sự lan rộng có thể là ưu điểm theo một số phương án thực hiện, nhưng nó không bắt buộc.

Mặc dù các phương án thực hiện với các biên dạng có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha (tương đối với chất lưu có nước) bằng 0,6 đến 1,2 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm tạo ra các giải pháp có một cực đại và không có cực đại cục bộ bổ sung trước khi điểm không thứ nhất trong MTF, đối với một số kết hợp của các biên dạng được tính toán hoặc thử nghiệm thực nghiệm của thủy tinh thể tạo thành có thể là thích hợp để xác nhận rằng thủy tinh thể một tiêu cự có chiều sâu tiêu cự đáng kể được tạo ra. Thủy tinh thể theo các phương án thực hiện với các biên dạng có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng 0,8 đến 1,0 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm tạo ra các thủy tinh thể một tiêu cự có chiều sâu tiêu cự mở rộng thích hợp hơn. Đã được đánh giá cao rằng các thủy tinh thể theo các khía cạnh của sáng chế có độ trễ pha giữa các trị số lân cận lớn hơn 0,6 chiều dài sóng khi so với thông thường các thủy tinh thể mà có độ trễ pha nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 như được mô tả trên đây. Mặc dù các độ trễ pha lớn hơn 0,6 thường được cho rằng tạo ra ánh sáng lớn hơn cho tiêu cự gần, vốn đã tránh được trong các thiết kế thông thường, tác giả sáng chế đã phát hiện rằng thiết kế này cải thiện chiều sâu tiêu cự, cụ thể là khi được sử dụng kết hợp với biên dạng nhiễu xạ tạo ra

từ nhiều biên dạng nhiễu xạ mà được kết hợp nhờ sử dụng hàm cực đại như được mô tả ở đây.

Ngoài ra, đã được đánh giá cao rằng dải độ trễ pha bên trên giữa các vùng liền kề bao gồm độ trễ pha bằng 1,0 mà được kết hợp một cách thông thường với mức đơn điệu cao. Ngoài ra, tác giả sáng chế đã phát hiện rằng, do việc sử dụng hàm cực đại, ba biên dạng này được kết hợp nhờ sử dụng hàm cực đại cho phép sự phân bố của ánh sáng theo cách cải thiện chiều sâu tiêu cự.

Fig.4 thể hiện đồ thị tiêu cự xuyên MTF của EDOF IOL trong FIG 2 và IOL khúc xạ một tiêu cự để so sánh. Khúc xạ một tiêu cự được sử dụng để so sánh có cùng thông số với thủy tinh thể khúc xạ cơ sở của thủy tinh thể EDOF và loại trừ biên dạng nhiễu xạ kết hợp (xem phần mô tả thủy tinh thể khúc xạ cơ sở bên trên).

Fig.4 thể hiện bản chất một tiêu cự của các thủy tinh thể theo các khía cạnh của sáng chế, cũng như lan rộng năng lượng dọc theo phía cận thị của đường trục quang gây ra bởi các thủy tinh thể theo các khía cạnh của sáng chế. Các MTF có thể được tính toán theo cách đơn giản, hoặc bằng chương trình dò tia như Oslo® từ Sinclair Optic tại Pittsford NY hoặc Zemax từ Zemax, LLC tại Kirkland, WA hoặc bằng công cụ mô phỏng khác, hoặc bằng mã tự viết, tất cả các phương pháp này tạo ra các kết quả tương đương nhờ sử dụng các kỹ thuật tính toán khác nhau.

Fig.4 là đồ thị của MTF tiêu cự xuyên ở hai đường trên 50 mm và sử dụng khẩu độ con người 3 mm. Đồ thị cung cấp phép đo sự lan rộng của năng lượng quang quanh vùng tiêu cự trên đường trục quang. Đã được đánh giá cao rằng để đo chiều sâu tiêu cự, như được thể hiện trên FIG.4, cần sử dụng mắt mô hình trong đó thủy tinh thể nội nhãn cầu được đặt hoặc như một mẫu thực thể hoặc như một mô hình tính toán.

Đường cong tiêu cự xuyên MTF trên Fig.4 và FIG.5 được tạo ra nhờ sử dụng các mô hình tính toán của thủy tinh thể nội nhãn cầu đã được mô tả bên trên, trong mắt mô hình được xác định là Mắt mô hình 1 theo tiêu chuẩn ISO 11979-2 2014 cho thủy tinh thể nội nhãn cầu. Do các quang sai thủy tinh thể và mắt mô hình có thể dẫn đến một số mở rộng về chiều sâu tiêu cự, cho các mục đích minh họa, các mô hình và thủy tinh thể khúc xạ cơ sở được chọn sao cho sự mở rộng về chiều sâu tiêu cự được tạo ra bởi biên dạng nhiễu xạ đã được phát hiện trên Fig.2 không bị che khuất, ví dụ bởi sự có mặt của quang sai hình cầu. Do đó, mắt mô hình 1 theo tiêu chuẩn ISO được sử dụng theo các ví dụ được mô tả ở đây do nó tạo ra lượng quang sai hình cầu nhỏ nhất trong giác mạc

được thể hiện ở đây, và thủy tinh thể khúc xạ cơ sở được chọn để có lượng quang sai hình cầu của đối tượng ngược để loại bỏ quang sai hình cầu nhỏ có mặt trong mẫu mắt 1. Mặc dù thủy tinh thể khúc xạ cơ sở được sử dụng để minh họa trên đây bao gồm lượng quang sai thấp được chọn để loại bỏ quang sai hình cầu của mô hình mắt 1, kết cấu này được chọn chỉ để minh họa. Các thủy tinh thể theo các khía cạnh của sáng chế có thể có lượng quang sai hình cầu thích hợp bất kỳ nhưng không xung đột với các khía cạnh khác của thủy tinh thể. Sẽ được đánh giá cao rằng quang sai hình cầu này có thể cải thiện chiều sâu tiêu cự theo cách thông thường khi được sử dụng kết hợp với các đặc điểm theo các khía cạnh của sáng chế. Việc chọn 3 mm cho đường kính khẩu độ, được sử dụng trong mắt mô hình để mô phỏng FIG.4 và FIG.5, thể hiện kích cỡ con người đặc trưng trong mắt người dưới các điều kiện quang.

Như được thể hiện trên Fig.4, MTF của chiều sâu tiêu cự mở rộng thủy tinh thể thể hiện chiều sâu tiêu cự bằng 1,16 D từ đỉnh tiêu cự MTF ở điểm không phân kỳ (tức là, cực đại tuyệt đối tương ứng với tiêu cự tốt nhất) nhờ sử dụng mức cực tiểu 0,2 MTF đơn vị ở phía năng suất phân kỳ dương (tức là, cận thị). Đối với MTF của kết cấu EDOF một tiêu cự phi hình cầu khúc xạ mà không có nhiễu xạ trên Fig.4, chiều sâu tiêu cự ở mức 0,2 ở phía cận thị bằng 0,53 D. Giả định rằng các đối tượng ở khoảng cách vô cùng là ở tiêu cự tốt nhất (tức là, ở đỉnh MTF), chiều sâu tiêu cự ở phía năng suất không phân kỳ âm hoặc siêu âm được xem là thất thoát do không thể được sử dụng trong tầm nhìn của con người.

Một đặc điểm khác của MTF của một tiêu cự chiều sâu tiêu cự mở rộng trên Fig.4 là sự không có mặt của các độ dốc MTF dưới mức 0,2 MTF giữa đỉnh tiêu cự ở điểm không phân kỳ và 1,16D phân kỳ do vậy hỗ trợ tầm nhìn hữu ích giữa tiêu cự thủy tinh thể và giới hạn chiều sâu tiêu cự của nó. Lưu ý rằng MTF của thủy tinh thể EDOF trên Fig.4 có đỉnh cực đại tuyệt đối ở mức MTF bằng 0,53 MTF đơn vị vốn thấp hơn đỉnh cực đại tuyệt đối của MTF của một tiêu cự phi hình cầu khúc xạ không có biên dạng nhiễu xạ kết hợp; tuy nhiên, ở đỉnh, MTF của thủy tinh thể EDOF có trị số đủ lớn để tạo ra tầm nhìn không giới hạn cho người mang. Bản chất một tiêu cự của MTF một tiêu cự chiều sâu tiêu cự mở rộng trên Fig.4 được minh họa qua một đỉnh của nó (tức là, đỉnh cực đại tuyệt đối tương ứng với tiêu cự tốt nhất) trước điểm không thứ nhất trong MTF và được dự tính là làm giảm rối loạn và nhầm lẫn thị giác tác động lên người dùng của thủy tinh thể đa tiêu nội nhãn cầu.

Fig.5 là đồ thị thể hiện tiêu cự xuyên MTF theo các ví dụ về các thủy tinh thể theo các khía cạnh của sáng chế trong đó các biên dạng nhiễu xạ cấu thành của mỗi thủy tinh thể được chọn để có một hoặc nhiều độ trễ pha tương ứng η (được biểu thị như phân số của chiều dài sóng 546 nm). Theo một phương án thực hiện, độ trễ pha $\eta = 0,6$ cho mỗi biên dạng trong số các biên dạng $p_1 = 0,35D$, $p_2 = 0,55D$ và $p_3 = 0,9D$. Theo phương án thực hiện trong số các phương án thực hiện, độ trễ pha $\eta = 0,7$ cho mỗi biên dạng trong số các biên dạng $p_1 = 0,35D$, $p_2 = 0,55D$ và $p_3 = 0,9D$. Theo phương án thực hiện khác nữa, độ trễ pha $\eta = 0,8$ cho mỗi biên dạng trong số các biên dạng $p_1 = 0,35D$, $p_2 = 0,55D$ và $p_3 = 0,9D$. Theo phương án thực hiện khác nữa, độ trễ pha $\eta = 1,0$ cho biên dạng $p_1 = 0,35D$, độ trễ pha $\eta = 1,1$ cho biên dạng $p_2 = 0,55D$ và, độ trễ pha $\eta = 1,0$ cho biên dạng $p_3 = 0,9D$. Theo phương án thực hiện khác nữa, độ trễ pha $\eta = 1,1$ cho biên dạng $p_1 = 0,35D$, độ trễ pha $\eta = 1,22$ cho biên dạng $p_2 = 0,55D$ và, độ trễ pha $\eta = 1,1$ cho biên dạng $p_3 = 0,9D$. Theo phương án thực hiện khác, các biên dạng được tạo ra sao cho biên dạng $p_1 = 0,39D$ có độ trễ pha $\eta = 0,6$, biên dạng $p_2 = 0,58D$ có độ trễ pha $\eta = 0,88$ và, biên dạng $p_3 = 1,25D$ có độ trễ pha $\eta = 0,75$ đối với ánh sáng 546 nm.

Có thể thấy rõ từ FIG.5 rằng hình dạng của đường cong MTF tiêu cự xuyên có độ nhạy với (các) trị số η . Cũng được đánh giá cao rằng, theo các ví dụ minh họa, có chiều sâu tiêu cự ngắn hơn cho η bằng 0,6 và biên dạng MTF rộng với chiều sâu tiêu cự tăng khi η tiến gần trị số bằng 1,2. Tuy nhiên, mỗi phương án trong số các phương án thực hiện được minh họa của thủy tinh thể thể hiện chiều sâu tiêu cự mở rộng. Ngoài ra, ba trong số các đường cong trên Fig.5 tương ứng với các thủy tinh thể trong đó các đường cong MTF minh họa rằng các biên dạng nhiễu xạ cấu thành của biên dạng đã được kết hợp định trước có thể có các trị số η khác so với nhau. Theo một số phương án thực hiện, chiều sâu tiêu cự lớn hơn 0,85 điopt khi trong mẫu mắt 1. Theo các phương án thực hiện khác nó lớn hơn 1,0 điopt. Theo các phương án thực hiện khác nữa, nó lớn hơn 1,25 điopt. Chiều sâu tiêu cự có thể được đạt được trong thủy tinh thể mà không có quang sai hình cầu hoặc trong thủy tinh thể có quang sai hình cầu

Tác giả sáng chế còn phát hiện rằng, theo một số phương án thực hiện, có mong muốn rằng vùng số không (được bố trí quanh đường trục quang của thủy tinh thể) xác định bởi các biên dạng nhiễu xạ cấu thành có thể được thay thế bởi vùng khúc xạ có bề mặt của nó được biểu thị một cách độc lập với các biên dạng nhiễu xạ cấu thành. Thiết

kế này cho phép đường cong của vùng số không sẽ được chọn sao cho ánh sáng được hướng đến phần thích hợp của chiều sâu tiêu cự để đạt được mức MTF. Mặc dù độ truyền của vùng số không là tương đối thấp so với phần còn lại của biên dạng, nhưng thiết kế này cho phép độ tự do hơn khi thiết kế thủy tinh thể. Ví dụ, năng suất khúc xạ của vùng giữa có thể được chọn nằm trong khoảng $\pm 0,2D$ năng suất của thủy tinh thể khúc xạ cơ sở.

Fig.6 thể hiện mắt người 10, sau khi thủy tinh thể nội nhãn cầu 1 theo các khía cạnh của sáng chế được phẫu thuật cấy ghép. Ánh sáng đi vào từ bên trái trên Fig.6, và đi qua giác mạc 14, buồng phía trước 15, iris 16, và đi vào túi nang 17. Túi nang 17 chứa thủy tinh thể nội nhãn cầu 1 cùng với chất lưu có nước mà chiếm thể tích còn lại và điều chỉnh áp lực trong mắt 10. Sau khi đi qua thủy tinh thể nội nhãn cầu 1, ánh sáng ra khỏi thành phía sau 18 của túi nang 17, đi qua buồng phía sau 11, và đập vào võng mạc 12. Võng mạc phát hiện ánh sáng và chuyển đổi nó thành tín hiệu được truyền từ thần kinh thị giác 8 đến não.

Thủy tinh thể nội nhãn cầu 1 có phần tử quang 1a có chỉ số khúc xạ lớn hơn chất lưu có nước mà bao quanh nó và, theo cách thông thường, năng suất khúc xạ của thủy tinh thể nội nhãn cầu nằm trong khoảng từ khoảng 5 diop đến khoảng 30 diop để bù sự thất thoát của thủy tinh thể tự nhiên mà được thay thế theo cách kinh điển.

Phần tử quang 1a có bề mặt ở phía trước 2 quay ra xa khỏi võng mạc 12 và bề mặt ở phía sau 3 quay về phía võng mạc 12. Như được thể hiện, phần tử quang 1a được giữ đúng vị trí nhờ một hoặc nhiều phần tiếp xúc 19, mà ghép phần tử quang 1a với túi nang 19. Một hoặc nhiều phần tiếp xúc có thể là kết cấu đã biết bất kỳ hoặc chưa được phát triển (ví dụ, tấm, dây, vòng chữ C, vòng chữ J), và có thể thuộc loại chứa được hoặc không chứa được. Theo một số phương án thực hiện, IOL có thể không có các phần tiếp xúc.

Phần tử quang 1a thủy tinh thể nội nhãn cầu 1 có thể được bố trí liền kề với, và ngay cả được ép tỳ, thành phía sau 18, ví dụ, để giảm sự phát triển tế bào trên phần tử quang 1a. Theo cách khác, phần tử quang 1a có thể được định vị bên trong túi nang 17 ở vị trí cách xa thành phía sau 18, ví dụ, để cho phép sự dịch chuyển điều chỉnh của phần tử quang 1a của thủy tinh thể nội nhãn cầu 1 dọc theo đường trục quang (tức là, thủy tinh thể như một IOL thích ứng); tuy nhiên, sẽ được đánh giá cao rằng các ưu điểm của chiều sâu tiêu cự mở rộng các đặc điểm của các thủy tinh thể theo các khía cạnh của

sáng chế tạo điều kiện thuận lợi cho thị trường mở rộng mà không có biến chức có thể xảy ra do dự dịch chuyển điều chỉnh.

Mắt điều chỉnh tạo ra hình ảnh của vật thể xa (tức là, vật thể ở xa vô cùng) ở võng mạc 12. Nếu thủy tinh thể có năng suất quá lớn hoặc quá nhỏ, hình ảnh chuyển đổi dọc trục dọc theo đường trục quang ra xa võng mạc 12 một khoảng cách tương ứng về phía hoặc ra xa thủy tinh thể 1. Lưu ý, năng suất cần để tập trung vật thể gần sát hoặc gần lên trên võng mạc lớn hơn năng suất cần để tập trung vật thể xa lên trên võng mạc.

Trong một số trường hợp các thủy tinh thể có các biên dạng nhiều xạ như đã được mô tả bên trên được tạo ra trên mỗi thủy tinh thể trong cụm thủy tinh thể nội nhãn cầu. Các thủy tinh thể trong cụm có năng suất cơ sở khác nhau (tức là, các năng suất khúc xạ) so với nhau. Cụm thủy tinh thể có dải năng suất khúc xạ bằng ít nhất 10 diopt, và bao gồm ít nhất ba thủy tinh thể. Theo một số phương án thực hiện, các thủy tinh thể của cụm thủy tinh thể có cùng biên dạng nhiều xạ kết hợp trên mỗi thủy tinh thể (tức là, các thủy tinh thể có năng suất khúc xạ khác nhau và cùng biên dạng nhiều xạ kết hợp được bố trí trên đó để tạo ra trường chiều sâu mở rộng). Ví dụ, các năng suất khúc xạ của cụm thủy tinh thể có thể nằm trong khoảng 10D đến 30D, các thủy tinh thể có các số gia bằng 0,5D (tức là, 41 thủy tinh thể).

Sẽ được đánh giá cao rằng một số các đặc điểm và chức năng đã được mô tả bên trên, hoặc các thay thế của chúng, có thể được kết hợp tùy ý vào nhiều hệ thống hoặc ứng dụng khác nhau. Ngoài ra, nhiều phương án thực hiện thay thế, biến thể, thay đổi, hoặc cải thiện hiện tại không lường trước hoặc không lường trước được có thể được thực hiện sau đó bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật mà đã được dự tính bao hàm trong các điểm yêu cầu bảo hộ dưới đây.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thủy tinh thể nội nhãn cầu một tiêu cự bao gồm:

phần tử quang có bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau, tạo ra năng suất khúc xạ cơ sở, ít nhất một trong số bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau được bố trí trên đó biên dạng đã được kết hợp bao gồm các bậc có các chiều cao được xác định bằng cách kết hợp ba biên dạng nhiều xạ cầu thành, các biên dạng nhiều xạ tương ứng với các năng suất p_1 , p_2 và p_3 , các năng suất này là khác với nhau và mỗi năng suất là năng suất dương nhỏ hơn khoảng 1D, và mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiều xạ có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng 0,6 đến 1,2 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm, biên dạng đã được kết hợp được xác định bởi hàm số :

$z = \max(\text{biên dạng nhiều xạ } (p_1), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_2), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_3)),$

trong đó $p_3 > p_2 > p_1$.

2. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó biên dạng đã được kết hợp được bố trí hoàn toàn trên bề mặt ở phía trước của thủy tinh thể.

3. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó biên dạng đã được kết hợp được bố trí từng phần trên cả bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau của thủy tinh thể.

4. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó biên dạng đã được kết hợp là đối xứng quay.

5. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó các vùng của thủy tinh thể được tạo bởi ba biên dạng cầu thành là dạng thủy tinh thể hội tụ.

6. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiều xạ có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng 0,8 đến 1,0 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm.

7. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó vùng giữa có bề mặt khúc xạ có dạng độc lập với các biên dạng nhiều xạ cầu thành.

8. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó tỷ lệ của p_1 với p_2 bằng khoảng 0,6, và tỷ lệ của p_1 với p_3 bằng khoảng 0,4.

9. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó tỷ lệ của p_1 với p_2 bằng khoảng 0,67, và tỷ lệ của p_1 với p_3 bằng khoảng 0,31.

10. Thủy tinh thể theo điểm 1, trong đó chiều sâu tiêu cự lớn hơn 0,85 điốp.

11. Thủy tinh thể theo điểm 8, trong đó chiều sâu tiêu cự lớn hơn 0,85 điopt.

12. Thủy tinh thể nội nhãn cầu một tiêu cự bao gồm:

phần tử quang có bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau, tạo ra năng suất khúc xạ cơ sở, ít nhất một trong số bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau được bố trí trên đó biên dạng đã được kết hợp bao gồm các bậc có các chiều cao được xác định bằng cách kết hợp ba biên dạng nhiều xạ cấu thành, các biên dạng nhiều xạ này tương ứng với các năng suất p_1 , p_2 và p_3 , các năng suất này là khác với nhau và mỗi năng suất là năng suất dương nhỏ hơn khoảng 1,25D, và mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiều xạ có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng 0,6 đến 1,2 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm, biên dạng đã được kết hợp được xác định bởi hàm số :

$$z = \max (\text{biên dạng nhiều xạ } (p_1), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_2), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_3)),$$

trong đó $p_3 > p_2 > p_1$.

13. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó biên dạng đã được kết hợp được bố trí hoàn toàn trên bề mặt ở phía trước của thủy tinh thể.

14. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó biên dạng đã được kết hợp được bố trí từng phần trên cả bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau của thủy tinh thể.

15. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó biên dạng đã được kết hợp là đối xứng quay.

16. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó các vùng của thủy tinh thể tạo bởi ba biên dạng cấu thành là dạng thủy tinh thể hội tụ.

17. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiều xạ có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng 0,8 đến 1,0 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm.

18. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó vùng giữa có bề mặt khúc xạ có dạng độc lập với các biên dạng nhiều xạ cấu thành.

19. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó tỷ lệ của p_1 với p_2 bằng khoảng 0,6, và tỷ lệ của p_1 với p_3 bằng khoảng 0,4.

20. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó tỷ lệ của p_1 với p_2 bằng khoảng 0,67, và tỷ lệ của p_1 với p_3 bằng khoảng 0,31.

21. Thủy tinh thể theo điểm 12, trong đó chiều sâu tiêu cự lớn hơn 0,85 điopt.

22. Thủy tinh thể theo điểm 19, trong đó chiều sâu tiêu cự lớn hơn 0,85 điop.

23. Cụm thủy tinh thể nội nhãn cầu một tiêu cự bao gồm ít nhất ba thủy tinh thể, mỗi thủy tinh thể trong số các thủy tinh thể này bao gồm phần tử quang có bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau, tạo ra năng suất khúc xạ cơ sở, ít nhất một trong số bề mặt ở phía trước và bề mặt ở phía sau được bố trí trên đó biên dạng đã được kết hợp bao gồm các bậc có các chiều cao được xác định bằng cách kết hợp ba biên dạng nhiều xạ cầu thành, các biên dạng nhiều xạ này tương ứng với các năng suất p_1 , p_2 và p_3 , các năng suất này là khác với nhau và mỗi năng suất là năng suất dương nhỏ hơn khoảng 1,25D, và mỗi biên dạng trong số các biên dạng nhiều xạ có các chiều cao bậc gây ra độ trễ pha, tương đối với chất lưu có nước, bằng 0,6 đến 1,2 lần 2π đối với ánh sáng 546 nm, biên dạng đã được kết hợp được xác định bởi hàm số :

$$z = \max (\text{biên dạng nhiều xạ } (p_1), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_2), \text{ biên dạng nhiều xạ } (p_3)),$$

trong đó $p_3 > p_2 > p_1$,

mỗi thủy tinh thể trong số các thủy tinh thể trong cụm có năng suất điop khúc xạ cơ sở khác so với nhau,

dải năng suất khúc xạ cơ sở bằng ít nhất 10 điop, và

biên dạng đã được kết hợp của mỗi thủy tinh thể trong số ít nhất ba thủy tinh thể là giống nhau.

24. Cụm thủy tinh thể nội nhãn cầu theo điểm 23, trong đó biên dạng đã được kết hợp trên mỗi thủy tinh thể trong số ít nhất ba thủy tinh thể là giống với biên dạng đã được kết hợp của mỗi thủy tinh thể trong số các thủy tinh thể khác trong ít nhất ba thủy tinh thể này.

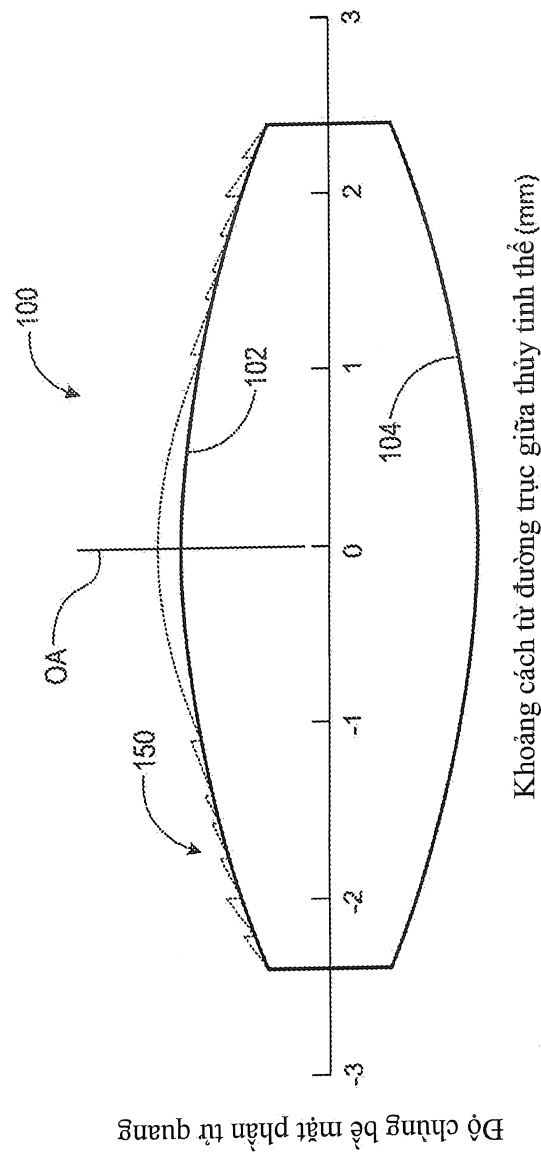


Fig. 1

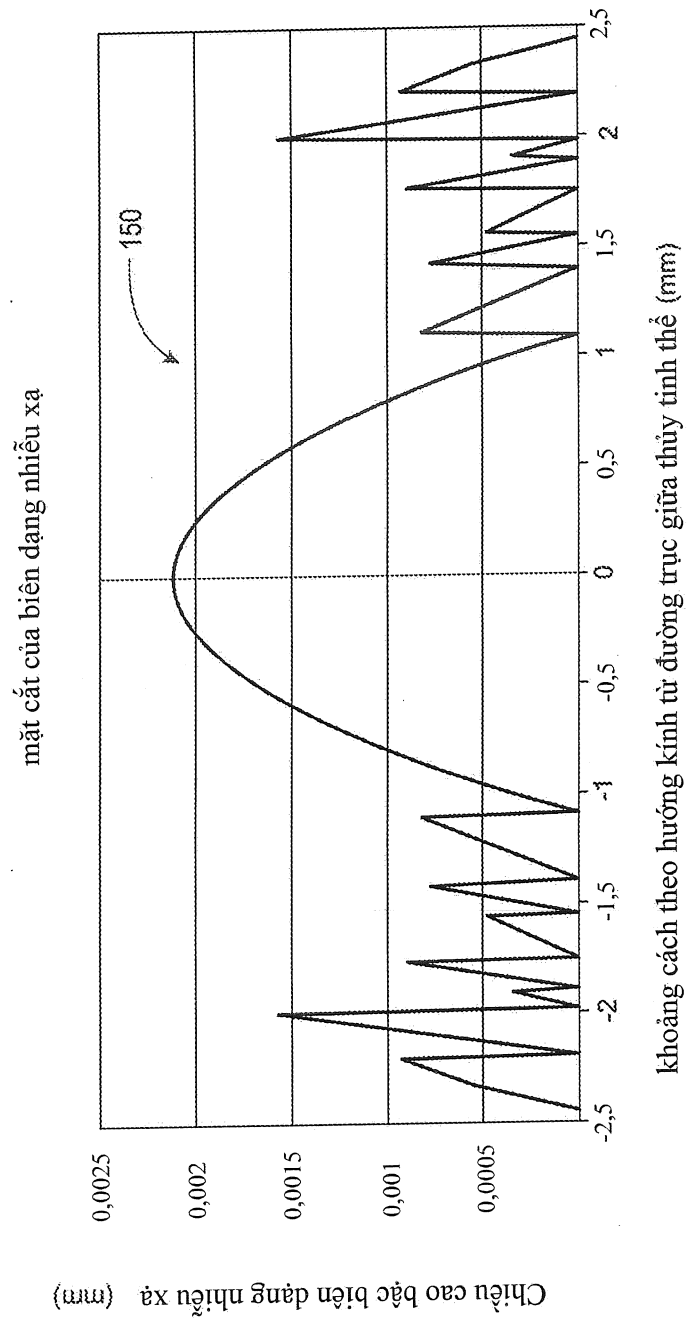


Fig. 2

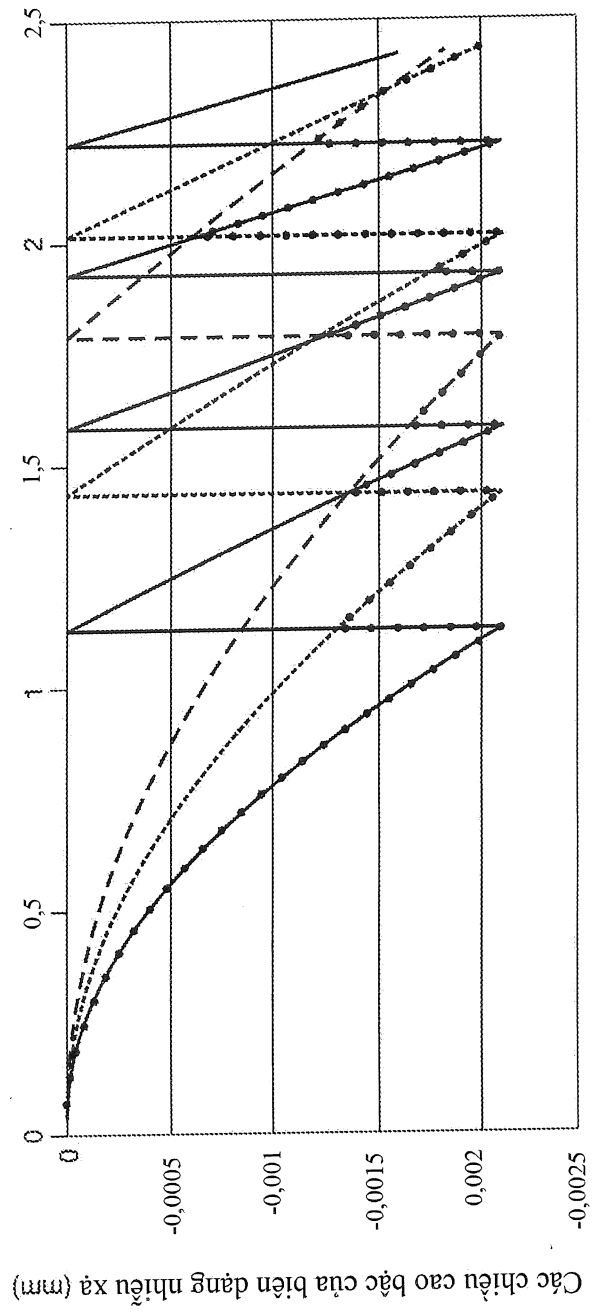


Fig. 3

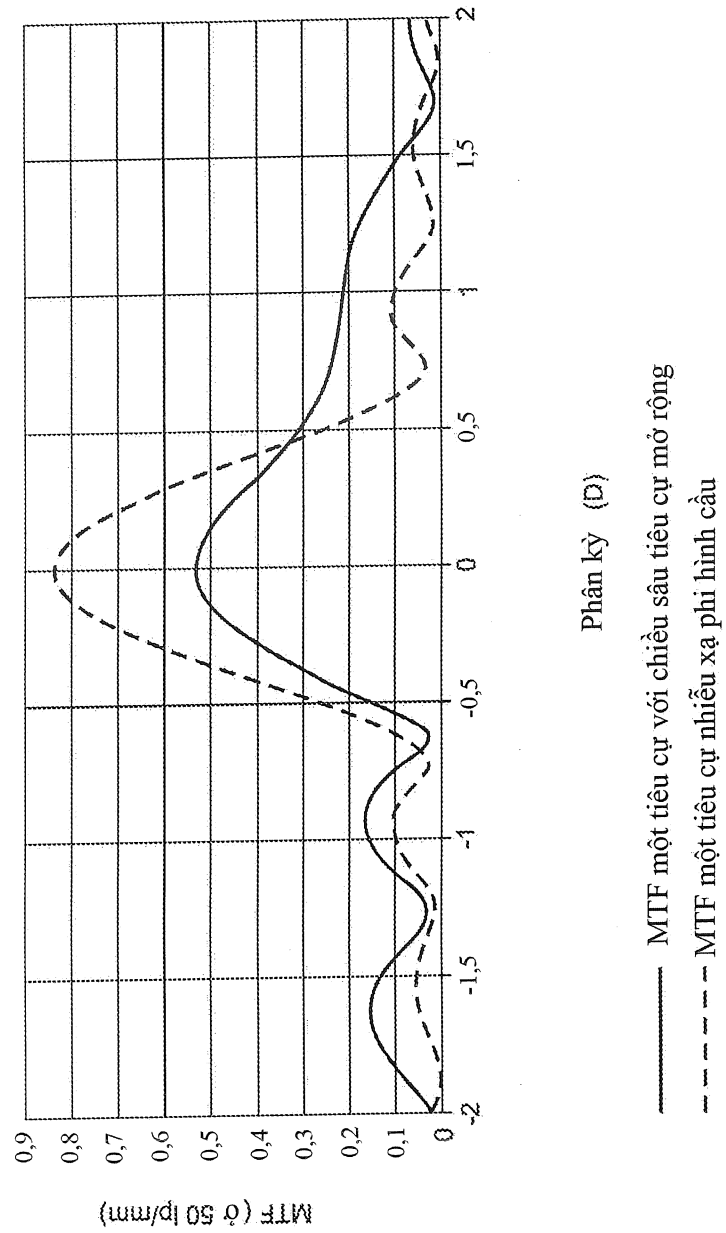
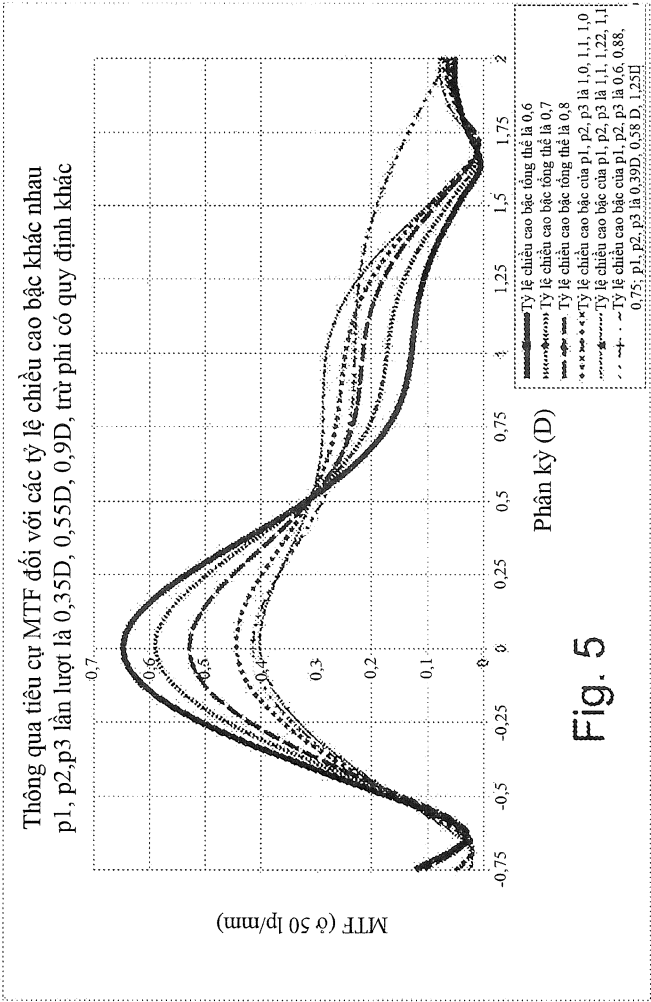
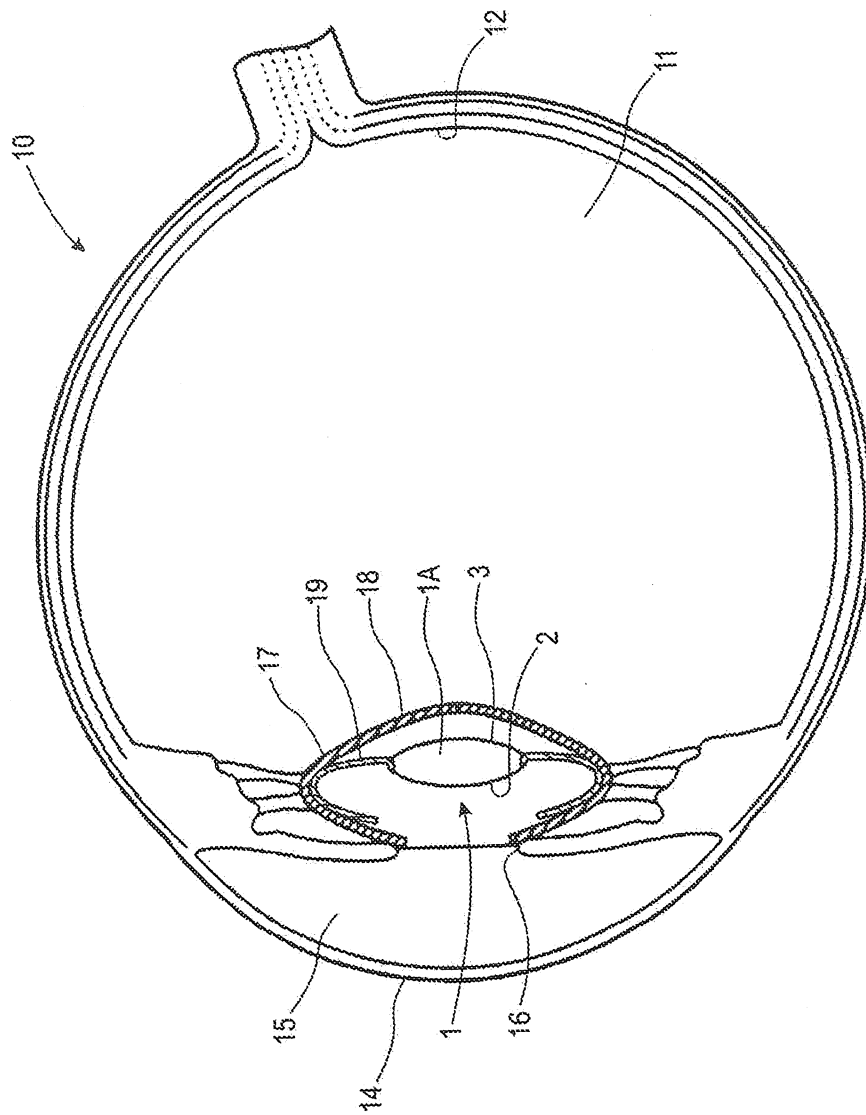


Fig. 4





69