

«Procédé de fabrication d'un émetteur de lumière»

Domaine technique

5 La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un émetteur de lumière. Elle concerne aussi l'émetteur obtenu par un tel procédé.

 Le domaine de l'invention est plus particulièrement mais de manière non limitative celui des émetteurs de lumière miniaturisés tel un émetteur
10 « multichip » à Diodes Electroluminescentes micrométriques, pour des applications telle que de la spectroscopie optique ou l'éclairage multispectral.

Etat de la technique antérieure

15 Le concept d'émetteur de lumière telle qu'un émetteur LED « multichip » existe depuis les années 2000 mais est exclusivement exploité par l'industrie de l'éclairage.

 Les enjeux de l'industrie de l'éclairage sont d'ordre colorimétrique et photométrique : leur but est d'obtenir un maximum de flux, souvent
20 exprimé en lumen, et d'optimiser le rendu colorimétrique pour obtenir la lumière blanche de la meilleure qualité possible en se basant sur l'Index de Rendu Colorimétrique.

 Le marché de l'éclairage demande un maximum de flux donné en lumen. Ainsi les émetteurs « multichip » existant sur le marché maximisent
25 la densité de sources (ou « chips », typiquement des micro-LEDs) dans la lampe pour avoir plus d'intensité lumineuse et conçoivent des optiques collectrices spécifiques. C'est notamment le cas du brevet US20120068198 déposé par Cree en 2011. Les points marquants de ce brevet sont le design du positionnement des sources pour maximiser la densité de sources. Le
30 design est fait de manière à optimiser le rendement et obtenir un bon rendu colorimétrique.

 En éclairage, il s'agit la plupart du temps de sources haute-puissance donc il y a de nombreuses problématiques thermiques à résoudre. Le design des supports ou des procédés est souvent basé sur une optimisation de la

dissipation thermique. Dans le brevet US20110198628, on peut voir qu'ils collent directement chaque source sur la base métallique pour une dissipation optimale de la chaleur et que le design est fait de façon à optimiser les réflexions internes et donc le flux final en utilisant un PCB (Printed Circuit Board) astucieusement travaillé. Il est également mentionné la minimisation de la distance entre les sources pour avoir un meilleur recouvrement entre les sources.

La maximisation de la densité de sources sur la surface d'un émetteur « multichip » est donc une caractéristique essentielle pour l'homme du métier pour ces différents exemples d'émetteurs « multichip ».

Le but de l'invention est de proposer un procédé pour fabriquer un émetteur de lumière qui puisse s'adresser à d'autres marchés que celui de l'éclairage, notamment à des marchés scientifiques tels que la spectroscopie d'absorption ou de fluorescence, l'éclairage pour la microscopie ou l'endoscopie, ou encore la communication par lumière visible (LIFI).

Exposé de l'invention

Cet objectif est atteint avec un procédé de fabrication d'un émetteur de lumière comprenant plusieurs sources de lumière distinctes et un support commun à toutes les sources, chaque source étant agencée pour émettre un faisceau lumineux à une longueur d'onde dite de travail, caractérisé en ce qu'il comprend :

- pour chaque source, une détermination d'une position de cette source le long d'une direction de fixation, en fonction de propriétés optiques (typiquement de dispersion chromatique ou de préférence d'aberration chromatique) d'un multiplexeur spectral prévu pour être associé à cet émetteur, de la longueur d'onde de travail de cette source et d'un placement de l'émetteur par rapport au multiplexeur, le multiplexeur spectral comprenant un ensemble optique présentant des propriétés de dispersion chromatique (de préférence d'aberration chromatique, typiquement d'aberration chromatique d'une lentille et/ou d'un prisme, de préférence d'aberration chromatique latérale) ; les

positions de ces sources étant déterminées pour que, pour ce placement de l'émetteur et pour ces positions des sources, l'ensemble optique soit agencé pour rapprocher spatialement les faisceaux lumineux des sources (grâce à ses propriétés de dispersion chromatique ou de préférence d'aberration chromatique) de sorte que le multiplexeur superpose spatialement lesdits faisceaux lumineux,

- une fixation, le long de la direction de fixation, de chaque source sur le support à sa position précédemment déterminée.

On peut fixer chaque source sur le support à sa position précédemment déterminée de sorte que les sources soient réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail. Pour l'étape de fixation, on peut fixer le long de la direction de fixation chaque source sur le support à sa position précédemment déterminée, de sorte que toutes les sources considérées globalement soient réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail.

La fixation peut comprendre une fixation des sources sur au moins deux axes de fixation parallèles s'étendant le long de la direction de fixation. Parmi toutes les sources, deux sources ayant des positions voisines le long de la direction de fixation ne sont de préférence pas fixées sur le même axe de fixation. Dans le cas à plusieurs axes de fixation :

- chaque source peut avoir une forme de quadrilatère, de préférence de carré ou de losange ; pour au moins une partie des sources les unes à la suite des autres le long de la direction de fixation, chaque source a de préférence une de ses diagonales de sa forme de quadrilatère alignée sur un des axes de fixation ; et/ou

- les sources peuvent être réparties sur les différents axes de fixation de sorte qu'à chaque axe de fixation correspond un intervalle de longueur d'onde de travail des sources réparties sur cet axe, de sorte qu'il n'y a pas d'intersection entre les intervalles de longueur d'onde de travail des différents axes de fixation ; et/ou

- 5 - pour chaque axe de fixation considéré individuellement, on peut fixer le long de la direction de fixation chaque source de cet axe sur le support à sa position précédemment déterminée, de sorte que les sources de cet axe soient réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail. Dans ce cas, toutes les sources considérées globalement peuvent ne pas être réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail.

10 L'ensemble optique peut comprendre un système optique présentant une aberration chromatique latérale, les positions des sources correspondant à une utilisation hors d'axe du système optique. Alternativement, l'ensemble optique peut comprendre un réseau de diffraction.

15 La fixation de chaque source peut comprendre une saisie de la source par une pointe aspirante, et un dépôt de la source par la pointe aspirante sur le support. On peut recouvrir de colle le support avant le dépôt de chaque source, et chaque source peut être déposée sur la colle.

20 L'émetteur peut comprendre une électronique de commande des sources, agencée pour commander chaque source indépendamment des autres sources.

 Le procédé selon l'invention peut comprendre, après la fixation, une association de l'émetteur avec le multiplexeur à son placement considéré lors de la détermination des positions de sources.

25 Chaque source est de préférence quasi monochromatique. Chaque source peut comprendre (de préférence peut consister en) une diode électroluminescente.

 Le support peut être solidaire d'une puce électronique munie de pattes de connexion agencées pour fixer la puce sur un circuit électronique.

30 L'ensemble optique peut comprendre une lentille et/ou un prisme et/ou un réseau de diffraction.

 Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé un émetteur obtenu par un procédé de fabrication selon l'invention, ou un

ensemble émetteur plus multiplexeur obtenu par un procédé de fabrication selon l'invention.

Il est donc proposé un émetteur de lumière selon l'invention (de préférence un ensemble de cet émetteur plus un multiplexeur comprenant un ensemble optique présentant des propriétés de dispersion chromatique), ledit émetteur comprenant plusieurs sources de lumière distinctes et un support commun à toutes les sources, chaque source étant agencée pour émettre un faisceau lumineux à une longueur d'onde dite de travail, chaque source ayant sur le support une position le long d'une direction de fixation (définie en fonction de propriétés optiques du multiplexeur spectral, de la longueur d'onde de travail de cette source et d'un placement de l'émetteur par rapport au multiplexeur dans le cas de l'ensemble émetteur + multiplexeur, de sorte que l'ensemble optique soit agencé pour rapprocher spatialement les faisceaux lumineux des sources grâce à ses propriétés de dispersion chromatique et de sorte que le multiplexeur superpose spatialement lesdits faisceaux lumineux).

Les sources sont de préférence réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail. Toutes les sources considérées globalement sont de préférence réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail.

Les sources peuvent être réparties sur au moins deux axes de fixation parallèles s'étendant le long de la direction de fixation. Parmi toutes les sources, deux sources ayant des positions voisines le long de la direction de fixation ne sont de préférence pas fixées sur le même axe de fixation. Dans le cas à plusieurs axes de fixation :

- chaque source peut avoir une forme de quadrilatère, de préférence de carré ou de losange ; pour au moins une partie des sources les unes à la suite des autres le long de la direction de fixation, chaque source a de préférence une de ses diagonales de sa forme de quadrilatère alignée sur un des axes de fixation ; et/ou
- les sources peuvent être réparties sur les différents axes de fixation de sorte qu'à chaque axe de fixation correspond un intervalle de longueur d'onde de travail des sources réparties sur

cet axe, de sorte qu'il n'y a pas d'intersection entre les intervalles de longueur d'onde de travail des différents axes de fixation ; et/ou

- 5 - pour chaque axe de fixation considéré individuellement, on peut fixer le long de la direction de fixation chaque source de cet axe sur le support à sa position précédemment déterminée, de sorte que les sources de cet axe soient réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail. Dans ce cas, toutes les sources considérées globalement peuvent
- 10 ne pas être réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail.

L'émetteur peut comprendre une électronique de commande des sources, agencée pour commander chaque source indépendamment des autres sources.

- 15 Chaque source est de préférence quasi monochromatique.

Chaque source peut comprendre (de préférence peut consister en) une diode électroluminescente.

Le support peut être solidaire d'une puce électronique munie de pattes de connexion agencées pour fixer la puce sur un circuit électronique.

- 20 Dans le cas de l'ensemble émetteur + multiplexeur :

- l'ensemble optique peut comprendre un système optique présentant une aberration chromatique latérale, les positions des sources correspondant à une utilisation hors d'axe du système optique, et/ou

- 25 - l'ensemble optique peut comprendre (ou consister en) une lentille et/ou un prisme et/ou un réseau de diffraction.

Description des figures et modes de réalisation

- D'autres avantages et particularités de l'invention apparaîtront à la
- 30 lecture de la description détaillée de mises en œuvre et de modes de réalisation nullement limitatifs, et des dessins annexés suivants :

- la figure 1 illustre les spectres d'émission de deux sources lumineuses utilisées dans les modes de réalisation d'émetteurs selon l'invention décrits par la suite,

- la figure 2 illustre un montage pour un premier mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention pour fabriquer un premier mode de réalisation d'émetteur selon l'invention,

5 - la figure 3 est une vue schématique du premier mode de réalisation d'émetteur selon l'invention obtenu par le procédé illustré sur la figure 2,

- la figure 4 illustre de manière schématique un deuxième mode de réalisation d'émetteur selon l'invention,

10 - les figures 5 à 9 illustrent des éléments pris en compte pour un deuxième mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention pour fabriquer le deuxième mode de réalisation d'émetteur selon l'invention,

- la figure 10 est une vue plus globale d'un émetteur 1 selon l'invention, et

15 - la figure 11 illustre un support 2 d'un émetteur 1 selon l'invention, et les sources fixées à ce support 2,

- la figure 12 illustre une variante pour un support 2 d'un émetteur 1 selon l'invention, et les sources fixées à ce support 2,

- la figure 13 illustre une autre variante pour un support 2 d'un émetteur 1 selon l'invention, et les sources fixées à ce support 2,

20 - la figure 14 est une vue en perspective d'une variante de support 2 d'un émetteur 1 selon l'invention muni de reliefs,

- les figures 15 et 16 sont des vues de profil d'une variante pour laquelle le support 2 d'un émetteur 1 selon l'invention est incliné, et

25 - la figure 17 est une vue de dessus d'un support 2 d'un émetteur 1 selon l'invention, et des sources fixées à ce support 2 dans le cas de propriétés de dispersion chromatique comprenant des repliements chromatiques dans le plan du support 2 à l'image d'un objectif apochromatique.

30 Ces modes de réalisation étant nullement limitatifs, on pourra notamment considérer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite isolées des autres caractéristiques décrites (même si cette sélection est isolée au sein d'une phrase comprenant ces autres caractéristiques), si cette sélection de

caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détails structurels, ou avec seulement une partie des
5 détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou à différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure.

Un émetteur 1 selon l'invention tel que décrit par la suite comprend N
10 sources de lumière distinctes, N étant un entier naturel supérieur ou égal à 2 (de préférence supérieur ou égal à 3, de manière préférentielle supérieur ou égal à 10).

Chaque source de lumière S_i (avec i un entier, $i=1$ à N) est agencée pour émettre un faisceau lumineux comprenant une ou plusieurs longueur
15 d'onde dont une longueur d'onde λ_i dite de travail.

Chaque source lumineuse émet sa longueur d'onde de travail dans le visible (entre 340 nm et 800 nm).

On va tout d'abord décrire, en référence à la figure 1, les spectres d'émission de chaque source lumineuse S_i utilisée dans un émetteur 1 selon
20 l'invention, (avec i un entier, $i=1$ à N) parmi les sources S_1 à S_N de l'émetteur.

On repère l'intensité lumineuse $I_i(\lambda)$, respectivement $I_{i+1}(\lambda)$, de deux sources lumineuses quasiment monochromatiques aux longueurs d'onde λ_i , respectivement λ_{i+1} . Chaque spectre $I_i(\lambda)$, respectivement $I_{i+1}(\lambda)$, a la
25 forme d'une courbe « en cloche » (par exemple une gaussienne) présentant un pic à la longueur d'onde dite de travail λ_i , respectivement λ_{i+1} . Ce pic présente une largeur à mi-hauteur relativement faible par rapport à la longueur d'onde de travail.

Ainsi, une première source lumineuse S_i présente un spectre
30 d'émission en cloche avec :

- un pic de hauteur $I_{i,max}$ (valeur maximale de l'intensité lumineuse $I_i(\lambda)$, c'est-à-dire $I_{i,max}(\lambda_i)$) pour la longueur d'onde de travail λ_i (par exemple $\lambda_1 = 380$ nm), et

- une largeur à mi-hauteur $\Delta\lambda_i$ autour du pic à λ_i , égale ici à 10 nm.

De la même manière, une deuxième source lumineuse S_{i+1} présente un spectre d'émission en cloche avec :

5 - un pic de hauteur $I_{i+1,\max}$ (valeur maximale de l'intensité lumineuse $I_{i+1}(\lambda)$, c'est-à-dire $I_{i+1,\max}(\lambda_{i+1})$) pour la longueur d'onde de travail λ_{i+1} (par exemple $\lambda_2 = 410$ nm), et

- une largeur à mi-hauteur $\Delta\lambda_{i+1}$ autour du pic à λ_{i+1} , égale ici à 10 nm.

10 On peut alors considérer que les sources lumineuses S_i et S_{i+1} sont quasi monochromatiques, car :

- la largeur à mi-hauteur $\Delta\lambda_i$ de la source lumineuse S_i est faible par rapport à la longueur d'onde λ_i car $\Delta\lambda_i/\lambda_i \ll 1$, de préférence $\Delta\lambda_i/\lambda_i < 10$, de préférence $\Delta\lambda_i/\lambda_i < 100$

15 - la largeur à mi-hauteur $\Delta\lambda_{i+1}$ de la source lumineuse S_{i+1} est faible par rapport à la longueur d'onde λ_{i+1} car $\Delta\lambda_{i+1}/\lambda_{i+1} \ll 1$, de préférence $\Delta\lambda_{i+1}/\lambda_{i+1} < 10$, de préférence $\Delta\lambda_{i+1}/\lambda_{i+1} < 100$.

Chaque source a une longueur d'onde de travail distincte de la longueur d'onde de travail des autres sources.

20 Chaque source S_i émet sa longueur d'onde de travail λ_i à une intensité lumineuse $I_i(\lambda_i)$ au moins dix fois (de préférence 100 fois) supérieure par rapport aux autres sources, c'est-à-dire que :

$$I_i(\lambda_i) \geq 10 I_k(\lambda_i) \text{ avec } i \text{ un entier } i=1 \text{ à } N ; \text{ et avec } k \text{ un entier } k=1 \text{ à } N \text{ mais } k \neq i \text{ (de préférence } I_i(\lambda_i) \geq 100 I_k(\lambda_i)).$$

25 De préférence, la longueur d'onde de travail de chaque source n'est pas émise par les autres sources.

On peut également prévoir d'utiliser des sources polychromatiques présentant d'autres formes de spectre. Selon l'invention, en fonction de la position de la source lumineuse, seule une partie de son spectre centrée sur
30 une longueur d'onde dite de travail ou d'émission sera exploitée. On peut donc utiliser une source polychromatique, pourvu que son spectre présente une intensité élevée à cette longueur d'onde de travail.

Chaque source lumineuse comprend (de préférence consiste en) une diode électroluminescente (DEL ou « LED » en anglais pour « Light-Emitting Diode »). L'utilisation de diodes électroluminescentes permet de réduire les risques de défaillances, les LEDs étant des sources lumineuses ayant une
5 durée de vie supérieure aux sources lumineuses utilisées habituellement dans des dispositifs tels qu'un spectromètre, comme les sources à incandescence ou à décharge. En outre, les LED présentent l'avantage d'être de taille réduite et de coût faible.

Chaque source comprend ou est une diode électroluminescente de
10 type encapsulées. On entend par là que chaque source comporte ici chacune au moins une diode électroluminescente ou « puce DEL » (« LED chip » en anglais) qui émet de la lumière et placée dans un boîtier permettant, d'une part, de dissiper la chaleur dégagée par chaque puce lorsque celle-ci émet (assurant ainsi une température constante, par
15 exemple avec l'aide d'un module Pelletier comme cela est fait classiquement), et, d'autre part, d'amener la puissance électrique (en particulier le courant électrique) jusqu'à chaque puce pour son fonctionnement. Le boîtier est donc généralement constitué d'un matériau résistant thermiquement et isolant électriquement comme par exemple un
20 polymère époxyde tel que la résine époxy, ou bien une céramique.

Ainsi, chaque source est prévue pour fonctionner à une température donnée et à une intensité électrique donnée.

La détermination de chaque position selon l'invention est réalisée dans cette hypothèse de température donnée et d'intensité électrique
25 donnée, qui correspond donc au point de fonctionnement optimal. Cependant, on remarquera que des variations de 1 ou 2 nanomètres de longueur d'onde ne sont de toutes manières pas dramatiques pour une DEL comprenant un spectre d'une dizaine de nanomètres de largeur à mi-hauteur, en particulier lorsque l'on utilise un ensemble optique 6
30 comprenant un prisme 51 (deuxième mode de réalisation décrit par la suite) ou un système optique 25 utilisé hors d'axe et présentant une aberration chromatique latérale (premier mode de réalisation décrit par la suite) qui ne sélectionne pas une partie réduite de ce spectre mais transmet tout le

spectre de chaque faisceau lumineux émis par chaque source et traversant cet ensemble optique 6.

Le boîtier comprend généralement deux pattes métalliques qui sont reliées sur le support 2 respectivement à une anode et à une cathode. On

5 peut avoir :

- une seule diode électroluminescente ou « puce DEL » par boîtier (cas « puce unique » ou « single chip »). Dans ce cas, chaque fixation de source sur le support 2 comprend typiquement une fixation de la source directement dans son boîtier par soudure (typiquement soudure SMD) du boîtier sur le support 2. Ce cas a pour inconvénient de nécessiter un espacement entre deux sources supérieur à la dimension des chips, car au moins égal à la dimension des boîtiers.
- Plusieurs diodes électroluminescentes ou « puces DEL » par boîtier (cas « multi cœur »). Dans ce cas préférentiel qui sera décrit plus en détails par la suite, chaque fixation de source sur le support 2 comprend typiquement une fixation de la source sur le support 2 via de la colle. Une fois plusieurs (de préférence toutes les) sources fixées sur le support, on les encapsule par un unique boîtier. Ce cas est nettement préféré par rapport au cas précédent, car il permet de rapprocher les sources entre elles, c'est-à-dire de travailler avec des dispersions chromatiques plus « resserrées », afin d'obtenir un émetteur plus compact.

Chaque source (« puce DEL ») possède une surface plane (de préférence Lambertienne) émettrice de lumière s'étendant parallèlement à un plan (et est agencé pour émettre son faisceau de préférence selon une direction moyenne perpendiculaire à ce plan), de sorte que l'on définisse l'épaisseur de cette source perpendiculairement à ce plan et on définit le diamètre de cette source comme étant le diamètre minimum d'un cercle contenu dans ce plan et pouvant entourer cette source. Le diamètre de chaque source est de préférence inférieur à 1 millimètre, de manière plus préférentielle inférieur à 300 micromètres.

Par « position » X_i d'une source S_i , on entendra de manière naturelle pour l'homme du métier la position d'un point de repère fixe pour toutes les

sources. Il s'agit de préférence de la position du centre (ou barycentre) de la partie (ou de la surface vue de dessus) génératrice de lumière pour chaque source, ou de la position du coin supérieur gauche de chaque source, etc... Cette position est définie par rapport à une origine $X=0$ définie de manière arbitraire. Par la suite, on considèrera des sources en forme de rectangle, losange ou carré, et on considèrera la position de chaque source comme étant la position du centre du rectangle, losange ou carré formé par chaque source.

De même, lorsque l'on considère différentes sources alignées, fixées, réparties, etc. sur différents axes (13, 14, 15, et/ou 40) on parle de l'alignement, de la fixation, de la répartition, etc. de ce point de repère fixe (centre, barycentre, coin, angle, etc..) de chaque source sur ces différents axes (13, 14, 15, et/ou 40).

On va par la suite décrire deux modes de réalisation de procédé selon l'invention pour fabriquer un émetteur de lumière 1 selon l'invention, cet émetteur de lumière 1 comprenant les différentes sources de lumière S_i (i un entier, $i=1$ à N) distinctes précédemment décrites et un support 2 plan et commun à toutes les sources. Un premier mode de réalisation sera un procédé de fabrication comprenant des mesures de positions des sources. Un deuxième mode de réalisation sera un procédé de fabrication comprenant des calculs de positions de sources. Dans ces deux modes de réalisations, le procédé de fabrication selon l'invention comprend :

- pour chaque source S_i , une détermination (par mesure ou par calcul) d'une position X_i de cette source S_i le long d'une direction de fixation 3, en fonction de propriétés optiques d'un multiplexeur spectral 4 prévu pour être associé à cet émetteur 1, de la longueur d'onde de travail λ_i de cette source et d'un placement 5 de l'émetteur 1 par rapport au multiplexeur 4, le multiplexeur spectral 4 comprenant un ensemble optique 6 présentant des propriétés de dispersion chromatique ; les positions X_1 à X_N des sources S_1 à S_N sont déterminées pour que, pour ce placement 5 de l'émetteur et pour ces positions X_1 à X_N des sources S_1 à S_N , l'ensemble optique 6 soit agencé pour rapprocher spatialement

les faisceaux lumineux des sources S_1 à S_N grâce à ses propriétés de dispersion chromatique de sorte que le multiplexeur 4 superpose spatialement (au moins partiellement, de préférence complètement) lesdits faisceaux lumineux en un faisceau lumineux multiplexé 26,

- une fixation, le long de la direction de fixation 3, de chaque source S_1 à S_N sur le support 2 à sa position X_1 à X_N précédemment déterminée, de sorte que les sources S_1 à S_N soient réparties le long de la direction de fixation 3 (de préférence par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_1 à λ_N , les sources S_1 à S_N sont donc de préférence rangées par ordre croissant de chromaticité.) selon la loi ou les propriétés de dispersion chromatique du multiplexeur spectral 4.

L'étape de détermination est mise en œuvre par des moyens techniques (moyens de mesure, typiquement un détecteur et un éventuel filtre, ou des moyens de calcul).

L'émetteur 1 ainsi obtenu est agencé pour que, une fois associé au multiplexeur 4, le multiplexeur 4 mette en œuvre un multiplexage spectral des faisceaux émis par les sources S_1 à S_N . On parle de multiplexage spectral pour désigner la combinaison spatiale de plusieurs faisceaux lumineux contribuant chacun à la composition spectrale finale d'un faisceau lumineux 26 de rayons parallèles, dit faisceau lumineux « collimaté » 26. Le faisceau lumineux multiplexé 26 est donc un faisceau lumineux polychromatique, puisqu'il comprend plusieurs longueurs d'onde mélangées λ_1 à λ_N .

Le terme de dispersion chromatique selon l'invention inclut les aberrations chromatiques.

Une aberration chromatique d'un ensemble optique 6 (comprenant ou consistant par exemple en un système optique 25 ou un prisme 51 tel que décrit par la suite) est une variation de la position du point de focalisation d'un faisceau lumineux incident collimaté sur cet ensemble optique 6 puis traversant cet ensemble optique 6, en fonction de la longueur d'onde de ce faisceau lumineux.

Une aberration chromatique latérale d'un ensemble optique 6 (comprenant ou consistant par exemple en un système optique 25 tel que décrit par la suite) est une variation de la position latérale (i.e. perpendiculairement à l'axe optique A1 du système optique 25) du point de focalisation d'un faisceau lumineux incident collimaté sur cet ensemble
5 optique 6 puis traversant cet ensemble optique 6, en fonction de la longueur d'onde de ce faisceau lumineux.

La propagation d'un faisceau lumineux émis par chaque source lumineuse S_1 à S_N se fait en espace libre depuis ladite source jusqu'à
10 l'ensemble optique 6. "Espace libre" désigne tout médium spatial d'acheminement du signal: air, espace inter-sidéral, vide, etc, ceci par opposition à un médium de transport matériel, tel la fibre optique ou les lignes de transmission filaires ou coaxiales. Il n'y a donc pas de couplage entre le faisceau lumineux émis par une source lumineuse, et un guide
15 d'onde. Il n'y a pas de couplage dit « fibre-à-LED » tel qu'il peut exister dans l'art antérieur. Selon l'invention, on a ainsi peu de pertes énergétiques. Les faisceaux lumineux sont efficacement mélangés, et l'intensité du faisceau superposé 26 est élevée. En outre, cette caractéristique offre une plus grande liberté de positionnement des sources
20 lumineuses S_1 à S_N ce qui réduit le coût de production selon l'invention et rend possible une production à la chaîne. En effet, on est dispensé d'une action de couplage entre une fibre optique et une source pour chacune des sources.

25 On va maintenant décrire, en référence aux figures 2 et 3, un premier mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention pour fabriquer un premier mode de réalisation d'émetteur 1 selon l'invention.

Dans le premier mode de réalisation d'émetteur 1 selon l'invention, l'ensemble optique 6 comprend au moins un système optique 25 utilisé hors
30 d'axe et présentant une aberration chromatique latérale. Cette aberration chromatique latérale forme la propriété de dispersion chromatique selon l'invention.

L'utilisation hors d'axe accentue, voire fait apparaître, la dispersion spatiale latérale des longueurs d'onde. On peut également parler de chromatisme de grandeur apparente.

5 Le coût d'un tel système optique 25 est généralement faible car, de manière intrinsèque, tout système optique exploité hors d'axe présente de l'aberration chromatique latérale, s'il n'est pas spécifiquement corrigé de cette aberration au moyen de solutions connues dans la conception optique.

10 Les sources lumineuses S_1 à S_N peuvent être placées respectivement aux foyers du système optique 25 correspondant aux longueurs d'onde λ_1 à λ_N , de sorte que leurs faisceaux lumineux soient multiplexés à la sortie du système optique 25.

15 Le système optique 25 est dit « utilisé hors d'axe », c'est-à-dire hors de son axe optique A1. En d'autres termes, un faisceau lumineux incident, convergent au foyer objet du système optique, ne ressort pas de ce système optique parallèle à l'axe optique A1 dudit système. Ainsi, les foyers du système optique 25 correspondant à différentes longueurs d'onde λ_1 à λ_N sont suffisamment séparés pour pouvoir placer les sources lumineuses correspondantes S_1 à S_N à l'endroit de ces foyers. Ce faisant, le
20 multiplexage spectral est précisément et automatiquement réalisé par le système optique aberrant 25 utilisé hors d'axe.

Dans ce premier mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention, l'étape de détermination de la position de chaque source S_1 à S_N est réalisée par une mesure.

25 Le multiplexeur 4 consiste en l'ensemble optique 6.

L'ensemble optique 6 comprend (et même consiste en) le système optique 25 hors d'axe, c'est-à-dire dans cet exemple une lentille biconcave épaisse 25 d'axe optique A1 dont on exploite les aberrations chromatiques. La lentille 25 possède des foyers F_1 à F_N correspondant aux longueurs
30 d'onde λ_1 à λ_N . À cause de l'aberration chromatique latérale, ces foyers sont distincts et séparés, alignés selon une droite sécante avec l'axe optique A1 de la lentille 25.

L'ensemble optique 6 comprend donc un système optique (la lentille 25 dans ce cas particulier) présentant une aberration chromatique latérale,

les positions déterminées des sources S_1 à S_N correspondant à une utilisation hors d'axe du système optique.

On utilise un détecteur 8 qui a la même forme (ici, plan) que le support 2. Le détecteur 8 est agencé pour détecter un faisceau lumineux focalisé sur lui, et pour déterminer une position du point de focalisation de ce faisceau sur la surface de détection de ce détecteur 8.

Le détecteur 8 est typiquement un détecteur matriciel (caméra CCD (« Charge-Coupled Device ») ou détecteur PDA (« Photo Diode Array ») ou réseau de PMT (« Photo Multiplier Tube »)) ou non (par exemple une diode PSD pour « Position Sensitive Detector »).

Le placement 5 de l'émetteur 1 par rapport au multiplexeur 4, considéré pour déterminer les positions des sources S_1 à S_N , correspond à une distance 7 entre :

- le sommet de la surface concave 9 de la lentille 25 orientée vers le support 2, et
 - le support 2
- ce support 2 étant plan et positionné perpendiculairement à l'axe A1 de la lentille 25.

Mesure

Pour mesurer la position X_i , le long de la direction de fixation 3, de chaque source S_i , on place le détecteur 8 à ce placement 5 par rapport au multiplexeur 4, c'est-à-dire dans cet exemple :

- à la distance 7 précédemment considérée, mais cette fois ci entre le sommet de la face concave 9 de la lentille 25 orientée vers le détecteur 8 et le détecteur 8, puisque le détecteur 8 remplace le support 2, et
- perpendiculairement à l'axe A1 de la lentille 25.

Enfin, on procède à une illumination de l'autre face 10 de la lentille 25 par un faisceau collimaté 27 de lumière blanche, correspondant à une utilisation hors d'axe A1 de la lentille 25.

On dispose en outre :

- soit à une position 18b entre le détecteur 8 et le multiplexeur 4,
- soit à une position 18a avant la lentille 25, c'est-à-dire dans le faisceau collimaté 27 de lumière blanche

un filtre 18 très sélectif (filtre passe bande, largeur à mi-hauteur de 10nm) et laissant passer la longueur d'onde de travail λ_i de cette source (typiquement laissant passer au moins 90% de l'intensité de cette longueur d'onde de travail λ_i) mais bloquant les longueurs d'onde de travail des autres sources (typiquement bloquant au moins 90% de l'intensité de ces longueurs d'onde, de préférence bloquant au moins 99,9% de l'intensité de ces longueurs d'onde).

On détermine ainsi la position X_i de la source S_i comme étant la position du point de focalisation détecté par le détecteur 8.

On procède ainsi pour chaque source, en changeant de filtre 18 pour chaque source.

La position 18a est très nettement préférée. En effet, le filtre 18 est en général optimisé et fonctionne mieux à une incidence donnée (incidence normale dans le cas de la figure 2), et à la position 18a il n'y a pas de variation d'incidence des différentes longueurs d'ondes sur le filtre 18, alors qu'à la position 18b les différentes longueurs d'onde ont différentes incidences sur le filtre 18.

Dans une variante, on peut se passer de filtre 18 en remplaçant le faisceau blanc 27 par un faisceau 27 monochromatique à la longueur d'onde de travail λ_i de la source S_i dont on cherche à déterminer la position X_i , et en changeant donc de longueur d'onde monochromatique du faisceau 27 pour chaque source S_i .

On va maintenant décrire, en référence aux figures 4 à 9, un deuxième mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention pour fabriquer un deuxième mode de réalisation d'émetteur selon l'invention.

Dans ce deuxième mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention, l'étape de détermination de la position de chaque source S_1 à S_N est réalisée par un calcul.

Dans ce deuxième mode de réalisation d'émetteur 1 selon l'invention, l'ensemble optique 6 comprend un doublet achromatique 55 et

un prisme 51 dont on exploite les propriétés de dispersion chromatique (plus exactement les propriétés d'aberration chromatique).

Cette aberration chromatique forme la propriété de dispersion chromatique selon l'invention dans ce mode de réalisation.

5

Calcul

Pour déterminer la position de chacune des sources S_1 à S_N , il faut étudier la réponse du multiplexeur dans le « sens inverse d'utilisation », c'est-à-dire étudier la dispersion chromatique d'un faisceau blanc collimaté. Dans l'ensemble optique 6 :

- le prisme 51 transforme un faisceau blanc collimaté 27 en une multitude de faisceaux monochromatiques collimatés 28 dont les directions dépendent de leurs longueur d'onde, et
- 15 - le doublet 55 focalise les faisceaux collimatés 28 dans son plan focal en fonction de leurs direction (mais pas de leur longueur d'onde).

Comme illustré sur la figure 5, pour le prisme 51, Si $n_0 = n_2 = 1$ (avec n_0 et n_2 les indices optiques à l'extérieur du prisme 51 à chacun de ses côtés) alors la déviation δ d'un rayon lumineux vaut:

20

$$\delta = \theta_0 + \theta_2 = \theta_0 + \arcsin\left(n \sin\left[\alpha - \arcsin\left(\frac{1}{n} \sin \theta_0\right)\right]\right) - \alpha$$

où:

- θ_0 est l'angle d'incidence du rayon
- 25 • n est l'indice optique du prisme 51 (fonction de la longueur d'onde du rayon λ) ; par exemple, la figure 6 illustre la valeur de n en fonction de la longueur d'onde λ dans le cas d'une prisme 51 en verre SF11.
- α est l'angle au sommet du prisme.

La figure 7 donne différents exemples de déviation δ en fonction de la longueur d'onde λ et de θ_0 pour $\alpha = 60^\circ$ (le prisme 51 a typiquement un profil ayant une forme de triangle équilatéral, car c'est un composant standard et donc peu cher).

30

En référence à la figure 8, le doublet achromatique 55 conjugue un faisceau collimaté 28 (point à l'infini) en un point de son plan focal selon la relation:

$$X = F' \cdot \tan(\theta)$$

5 OÙ:

- F' est la focale du doublet 55
- X est la hauteur dans le plan focal
- θ est l'angle du faisceau collimaté

10 Contrairement à une lentille simple, la focale du doublet achromatique 55 est quasi indépendante de λ . Pour diminuer la focale et/ou augmenter l'ouverture on peut plutôt utiliser un triplet.

Ainsi, on détermine la position $X_i(\lambda_i)$ de la source S_i de longueur d'onde de travail λ_i (avec i un entier $i=1$ à N) en la calculant selon la formule:

15
$$X_i(\lambda_i) = F' \tan[\delta(\lambda_i) - \delta(\lambda_{ref})]$$

avec $\delta(\lambda_i) = \theta_0 + \arcsin\left(n(\lambda_i) \sin\left[\alpha - \arcsin\left(\frac{\sin \theta_0}{n(\lambda_i)}\right)\right]\right) - \alpha$, et λ_{ref} est la longueur d'onde pour laquelle on pose de manière arbitraire l'origine des positions ($X(\lambda_{ref}) = 0$)

20 Cette étape de détermination par calcul est mise en œuvre par des moyens techniques, plus exactement par des moyens de calcul. Les moyens de calcul comprennent typiquement un processeur, typiquement un circuit électronique analogique et/ou numérique, et/ou un microprocesseur et/ou une unité centrale d'un ordinateur.

25 La figure 9 illustre un exemple pour un prisme en verre SF11, pour $\alpha = 60^\circ$, pour $\theta_0 = \theta_{Blanc} = 68,5^\circ$, pour $F' = 35\text{mm}$ et pour $\delta_{ref} = \delta(\lambda_{ref}) = 62,3^\circ$.

30 Cette étape de détermination par calcul pourrait être complétée par une étape de conception optique : l'optimisation radiométrique. Cette étape de calcul consiste à simuler l'ensemble source+système optique dans le sens réel de fonctionnement afin d'optimiser le faisceau blanc collimaté de sortie par de légères modifications de la position des sources ainsi que des

rayons de courbures, épaisseurs et/ou positions des optiques du multiplexeur.

- Le tableau ci-dessous illustre un exemple pour un prisme en verre SF11, pour $\alpha = 60^\circ$, pour $\theta_0 = \theta_{\text{Blanc}} = 68,5^\circ$ pour $F' = 35\text{mm}$, pour $\delta_{\text{ref}} = \delta(\lambda_{\text{ref}}) = 62,3^\circ$ et pour $N = 15$:

Numéro de la source i=	1	2	3	4	5	6	7	8
Longueur d'onde de travail λ_i de cette source (en nm)	380	410	440	470	500	530	560	590
Position X_i de cette source le long de la direction 3 (en mm)	3,79	1,84	0,57	-0,32	-0,99	-1,52	-1,93	-2,27
Position Y_i de cette source perpendiculairement à la direction 3 (en mm)	0	0	0	0	0	0	0	0

Numéro de la source i=	9	10	11	12	13	14	15
Longueur d'onde de travail λ_i de cette source (en nm)	620	650	680	710	740	770	800
Position X_i de cette source le long de la direction 3 (en mm)	-2,56	-2,8	-3	-3,18	-3,33	-3,47	-3,59
Position Y_i de cette source perpendiculairement à la direction 3 (en mm)	0	0.125	-0.125	0.125	-0.125	0.125	-0.125

- On va maintenant décrire, en référence aux figures 3, 4, 10 et 11, les étapes du premier ou du deuxième mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention qui suivent l'étape de détermination de la

position X_i de chaque source S_i . On considérera comme exemple le cas des quinze positions X_1 à X_{15} résumées dans le tableau ci-dessus qui correspondent aux positions déterminées par calcul mais qui peuvent aussi correspondre à des valeurs déterminées par des mesures selon le premier mode de réalisation de procédé de fabrication selon l'invention.

Après avoir déterminé les positions des sources S_1 à S_N , le procédé de fabrication selon l'invention illustré comprend une fixation, le long de la direction de fixation 3, de chaque source S_1 à S_N sur le support 2 à sa position X_1 à X_N précédemment déterminée, de sorte que les sources S_1 à S_N soient réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_1 à λ_N et selon la loi ou les propriétés de dispersion chromatique du multiplexeur spectral.

On remarque que selon l'invention on ne cherche pas simplement à mettre les sources S_1 à S_N les plus proches les unes des autres : l'espacement entre les sources S_1 à S_N doit respecter la loi de dispersion chromatique de l'ensemble optique 6 pour lequel il est conçu.

Le support 2 est une surface plane solidaire d'une puce électronique 11 munie de pattes de connexion 12 agencées pour fixer la puce 11 sur un circuit électronique et pour permettre d'alimenter en électricité chaque source S_1 à S_N de manière indépendante.

On recouvre de colle le support 2 avant le dépôt de chaque source S_1 à S_N . Selon le mode d'alimentation électrique choisi, on utilise soit de la colle conductrice, soit de la colle isolante.

Pour fixer chaque source S_i sur le support 2, on saisit cette source par une pointe aspirante, et on dépose la source S_i sur le support 2 (plus exactement en contact avec la colle) par la pointe aspirante, à sa position X_i précédemment déterminée. Lors du dépôt, la projection de la pointe sur le plan du support 2 reste fixe, et le support 2 est monté sur une platine de déplacement piézoélectrique et est mobile de manière à déposer la source S_i à sa bonne position X_i précédemment déterminée.

Une étape de cuisson supplémentaire est mise en œuvre pour fixer définitivement la colle.

De manière astucieuse, en référence à la figure 11, la fixation comprend une fixation des sources S_1 à S_N sur au moins deux (de

préférence au moins trois, de préférence trois) axes de fixation parallèles 13, 14, 15 s'étendant le long de la direction de fixation 3. Ainsi, les sources n'ont pas nécessairement les mêmes coordonnées Y_1 à Y_N perpendiculairement à la direction 3.

5 Ainsi, on diminue l'encombrement des sources S_1 à S_N en les « superposant » sur l'axe X via un décalage en Y.

On remarque que l'émetteur 1 selon l'invention, obtenu par un procédé de fabrication selon l'invention, est particulièrement astucieux en ce qu'il comprend des sources S_1 à S_N sur au moins deux (de préférence au
10 moins trois, de préférence trois) axes de fixation parallèles 13, 14, 15 s'étendant le long de la direction de fixation 3.

Parmi les sources S_1 à S_N , il existe des paires de deux sources (par exemple S_{10} et S_{11} , ou S_{11} et S_{12} , ou S_{12} et S_{13} , ou S_{13} et S_{14} , ou S_{14} et S_{15}) ayant le long de la direction de fixation 3 des positions voisines (i.e. sans
15 troisième source ayant une position intermédiaire le long de la direction de fixation 3 comprise entre les positions de ces deux sources le long de la direction de fixation 3) mais qui ne sont pas fixées sur le même axe de fixation 13, 14, 15.

On remarque que les sources S_1 à S_N comprennent deux ensembles :
20 - un premier ensemble de sources S_1 à S_9 , et
 - un deuxième ensemble de sources S_{10} à S_{15} dont les longueurs d'onde de travail λ_{10} à λ_{15} sont supérieures à toutes les longueurs d'ondes de travail λ_1 à λ_9 des sources du premier ensemble.

Toutes les sources du deuxième ensemble appartiennent à une paire
25 de deux sources (par exemple S_{10} et S_{11} , ou S_{11} et S_{12} , ou S_{12} et S_{13} , ou S_{13} et S_{14} , ou S_{14} et S_{15}) ayant le long de la direction de fixation 3 des positions voisines mais qui ne sont pas fixées sur le même axe de fixation 13, 14, 15.

Chaque source est reliée à une anode 16 et à une cathode 17
30 (typiquement par une microsoudure au fil d'or).

Comme nous venons de le décrire, l'émetteur 1 comprend le support 2 et les sources S_1 à S_N .

L'émetteur 1 peut en outre comprendre la puce 11 solidaire du support 2.

L'émetteur peut en outre comprendre une électronique de commande (non illustrée), agencée pour commander chaque source indépendamment des autres sources. Typiquement, cette électronique de commande est un circuit électronique (circuit imprimé) sur lequel est fixée la puce 11.

5 En outre, le procédé de fabrication selon l'invention peut comprendre, comme illustré sur les figures 3 et 4, après la fixation de chaque source S_1 à S_N , une association de l'émetteur 1 avec le multiplexeur spectral 4 considéré pour déterminer la position X_1 à X_N de chaque source S_1 à S_N . Par cette association, on propose ainsi un procédé de fabrication d'un ensemble
10 comprenant l'émetteur 1 et le multiplexeur. On associe le multiplexeur 4 avec l'émetteur 1 en plaçant l'émetteur 1 à son placement 5 considéré lors de la détermination des positions X_1 à X_N de sources S_1 à S_N . L'ensemble émetteur 1 plus multiplexeur 4 peut former une partie d'un spectromètre d'absorption, le multiplexeur spectral 4 étant adapté à mélanger les
15 faisceaux lumineux des sources S_1 à S_N pour former un faisceau lumineux multiplexé (ou superposé) 26 destiné à illuminer un échantillon à analyser.

Par exemple, dans le cas du premier mode de réalisation d'émetteur selon l'invention illustré sur la figure 3, on place le support 2 :

- à la distance 7, par rapport à la lentille 25, considérée pour déterminer la
20 position X_1 à X_N de chaque source S_1 à S_N
- avec l'inclinaison du support 2 (par exemple perpendiculaire), par rapport à l'axe A1, considérée pour déterminer la position X_1 à X_N de chaque source S_1 à S_N ,
- en supposant que l'intersection du support 2 et de l'axe A1 correspond à
25 une valeur de référence de position X_{ref} (par exemple $X_{ref}=0$) considérée pour déterminer la position X_1 à X_N de chaque source S_1 à S_N .

De même, dans le cas du deuxième mode de réalisation d'émetteur selon l'invention illustré sur la figure 4, on place le support 2 :

- à la distance focale F' , par rapport au doublet 55, considérée pour
30 déterminer la position X_1 à X_N de chaque source S_1 à S_N
- avec l'inclinaison du support 2 (a priori perpendiculaire), par rapport à l'axe optique A2 du doublet 55, considérée pour déterminer la position X_1 à X_N de chaque source S_1 à S_N ,

- en supposant que l'intersection du support 2 et de l'axe optique du doublet 55 correspond à une valeur de référence de position X_{ref} (par exemple $X_{\text{ref}}=0$ dans le cas des quinze valeurs calculées dans le tableau précédent) considérée pour déterminer la position X_1 à X_N de chaque source S_1 à S_N .

En référence à la figure 12 qui est une variante qui ne sera décrite que pour ses différences par rapport au cas de la figure 11 (avec de préférence le même ensemble optique 6 que dans le cas de la figure 11), chaque source S_1 à S_N a une forme de quadrilatère, de carré ou de losange. Pour au moins une partie des sources (S_9 à S_{15}) les unes à la suite des autres le long de la direction de fixation 3, chaque source a une de ses diagonales de sa forme de quadrilatère alignée sur un des axes de fixation 13, 14 ou 15. Cela permet de rapprocher les axes entre eux, c'est-à-dire de travailler avec des dispersions chromatiques plus « resserrées », afin d'obtenir un émetteur plus compact et donc une meilleur efficacité de collection.

En référence à la figure 13 qui est une variante qui ne sera décrite que pour ses différences par rapport au cas de la figure 11, les sources S_1 à S_N ($N=15$) sont réparties sur différents axes de fixation 13, 14 de sorte :

-qu'au premier axe de fixation 13 corresponde un premier intervalle de longueur d'onde de travail (300 à 580 nm) des sources S_1 à S_8 réparties sur cet axe 13, et

-qu'au deuxième axe de fixation 14 corresponde un deuxième intervalle de longueur d'onde de travail (620 à 860 nm) des sources S_9 à S_{15} réparties sur cet axe 14,

de sorte qu'il n'y ai pas d'intersection entre ces deux intervalles de longueur d'onde de travail, mais que les sources du premier intervalle de longueur d'onde de travail (300 à 580 nm) et les sources du deuxième intervalle de longueur d'onde de travail (620 à 860 nm) soient situées les unes au-dessus des autres (perpendiculairement à la direction 3). Ainsi, toutes les sources S_1 à S_{15} considérées globalement ne sont pas réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_1 à λ_{15} .

On remarque donc que :

- pour l'axe de fixation 13 considéré individuellement, on fixe le long de la direction de fixation 3 chaque source S_1 à S_8 de cet axe 13 sur le support 2 à sa position respectivement X_1 à X_8 déterminée selon le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) précédemment décrit, de sorte que les sources S_1 à S_8 de cet axe 13 soient réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_1 à λ_8 , et
- pour l'axe de fixation 14 considéré individuellement, on fixe le long de la direction de fixation 3 chaque source S_9 à S_{15} de cet axe 14 sur le support 2 à sa position respectivement X_9 à X_{15} déterminée selon le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) précédemment décrit, de sorte que les sources S_9 à S_{15} de cet axe 14 soient réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_9 à λ_{15} .

Par contre, contrairement au cas des figures 11 et 12, on remarque que toutes les sources S_1 à S_{15} considérées globalement ne sont pas réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_1 à λ_{15} .

- Le cas de la figure 13 correspond de préférence au cas de la figure 4 pour laquelle le prisme 51 est remplacé par un réseau de diffraction. Ainsi dans ce cas le multiplexeur et l'ensemble optique comprennent (de préférence consistent en) le même réseau de diffraction. Le premier axe de fixation 13 exploite les propriétés de dispersion chromatique du réseau de diffraction au premier ordre et le deuxième axe de fixation 14 exploite les propriétés de dispersion chromatique du réseau de diffraction au deuxième ordre. On remarque sur la figure 13 que la dispersion d'un réseau de diffraction est linéaire.

- Toutes les sources considérées globalement peuvent ne pas être réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail. C'est notamment le cas, en référence à la figure 17, lorsque l'ensemble optique 6 a des propriétés de dispersion chromatique comprenant des repliements chromatiques dans le plan du

support 2, comme pour un objectif apochromatique. On remarque dans le cas de la figure 17, à la vue des différents axes parallèles 13, 14, 15 et 40, que :

- pour l'axe de fixation 40 considéré individuellement, on fixe le long de la direction de fixation 3 chaque source S_1 à S_3 de cet axe 40 sur le support 2 à sa position respectivement X_1 à X_3 déterminée selon le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) précédemment décrit, de sorte que les sources S_1 à S_3 de cet axe 40 soient réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre décroissant de longueur d'onde de travail λ_1 à λ_3 ,
- pour l'axe de fixation 13 considéré individuellement, on fixe le long de la direction de fixation 3 chaque source S_{10} , S_{12} et S_{14} de cet axe 13 sur le support 2 à sa position respectivement X_{10} , X_{12} et X_{14} déterminée selon le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) précédemment décrit, de sorte que les sources S_{10} , S_{12} et S_{14} de cet axe 13 soient réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_{10} , λ_{12} et λ_{14} ,
- pour l'axe de fixation 14 considéré individuellement, on fixe le long de la direction de fixation 3 chaque source S_4 à S_9 de cet axe 14 sur le support 2 à sa position respectivement X_4 à X_9 déterminée selon le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) précédemment décrit, de sorte que les sources S_4 à S_9 de cet axe 14 soient réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_4 à λ_9 , et
- pour l'axe de fixation 15 considéré individuellement, on fixe le long de la direction de fixation 3 chaque source S_{11} , S_{13} et S_{15} de cet axe 15 sur le support 2 à sa position respectivement X_{11} , X_{13} et X_{15} déterminée selon le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) précédemment décrit, de sorte que les sources S_{11} , S_{13} et S_{15} de cet axe 15 soient réparties le long de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_{11} , λ_{13} et λ_{15} .

Contrairement au cas des figures 11 et 12, on remarque que toutes les sources S_1 à S_{15} considérées globalement ne sont pas réparties le long

de la direction de fixation 3 par ordre croissant de longueur d'onde de travail λ_1 à λ_{15} .

En référence aux figures 14 à 16, on notera que pour l'ensemble des modes de réalisation décrits :

- 5 - le support 2 (tout comme le détecteur 8 dans le cas d'une mesure) peut, en référence à la figure 15, être incliné selon un angle 34 (autour d'un axe perpendiculaire à la direction de fixation 3) et/ou
- 10 - le support 2 (tout comme le détecteur 8 dans le cas d'une mesure) peut, en référence à la figure 16, être incliné selon un angle 35 (autour d'un axe parallèle à la direction de fixation 3) par rapport à l'axe optique A1 ou A2, et/ou
- 15 - en référence à la figure 14, le support 2 plan peut être muni de motifs en reliefs (creux, bosses, rainures et/ou marches) de sortes que lorsque les sources S1 à SN sont fixées sur le support 2, certaines sources sont fixées sur ces motifs et sont surélevées par rapport à d'autres sources le long d'une normale 46 au plan 36 du support 2,

de manière à compenser des aberrations chromatiques longitudinales du multiplexeur spectral. Il est particulièrement astucieux d'avoir, en tant
20 que motifs, une marche 43, 44, 45 pour chaque axe de fixation 13, 14, 15, chaque marche 43, 44, 45 ayant une élévation différente des autres marches le long d'une normale 46 au plan 36 du support 2. Dans le cas de la figure 13 (l'ensemble optique 6 étant de préférence un réseau de
25 diffraction), il est particulièrement astucieux d'avoir une marche 43, 44 pour chaque intervalle de longueur d'onde de travail, c'est-à-dire pour chaque axe de fixation 13, 14, chaque marche 43, 44 ayant une élévation différente des autres marches le long de la normale 46 au plan 36 du support 2.

30 Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

Bien entendu, les différentes caractéristiques, formes, variantes et modes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les

autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres. En particulier toutes les variantes et modes de réalisation décrits précédemment sont combinables entre eux.

5 Par exemple, on peut utiliser le premier mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure) pour fabriquer le deuxième mode de réalisation d'émetteur selon l'invention.

De même, on peut utiliser le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (calcul) pour fabriquer le premier mode de
10 réalisation d'émetteur selon l'invention.

En outre, le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (calcul) peut être basé sur un calcul dont les étapes de calcul, mis en œuvre par des moyens techniques, sont basées sur un modèle théorique ou sur un modèle de simulation numérique.

15 Enfin, on peut utiliser le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) pour fabriquer de nombreux autres exemples de modes de réalisation d'émetteur selon l'invention. On remarquera que par exemple le prisme 51 peut être remplacé ou combiné à un réseau de diffraction dont on exploitera aussi les propriétés de dispersion
20 chromatique.

Par exemple, on peut utiliser le premier ou le deuxième mode de réalisation de procédé selon l'invention (mesure ou calcul) pour fabriquer une variante du deuxième mode de réalisation d'émetteur selon l'invention (figure 4), dans lequel :

25 - le prisme 51 a une face 30 bombée (de préférence concave) d'entrée des faisceaux lumineux, et/ou une face 31 bombée (de préférence concave) de sortie des faisceaux lumineux, ou

- le prisme 51 est remplacé par deux lentilles, dont une première lentille (faces 30 et 32) positionnée sur la face d'entrée des faisceaux
30 lumineux du prisme 51, et une deuxième lentille (face 31 et 33) positionnée sur la face de sortie des faisceaux lumineux du prisme 51, c'est-à-dire par deux lentilles (de préférence biconcaves) dont les axes optiques se croisent entre ces deux lentilles.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un émetteur (1) de lumière comprenant plusieurs sources (S_1 , S_i , S_N) de lumière distinctes et un support (2) commun à toutes les sources, chaque source (S_1 , S_i , S_N) étant agencée pour émettre un faisceau lumineux à une longueur d'onde dite de travail (λ_1 , λ_i , λ_N), chaque source ayant une longueur d'onde de travail distincte de la longueur d'onde de travail des autres sources, caractérisé en ce qu'il comprend :
- pour chaque source, une détermination d'une position (X_1 , X_i , X_N) de cette source le long d'une direction de fixation (3), en fonction de propriétés optiques d'un multiplexeur spectral (4) prévu pour être associé à cet émetteur, de la longueur d'onde de travail de cette source et d'un placement (5) de l'émetteur par rapport au multiplexeur, le multiplexeur spectral comprenant un ensemble optique (6) présentant des propriétés de dispersion chromatique ; les positions de ces sources (X_1 , X_i , X_N) étant déterminées pour que, pour ce placement (5) de l'émetteur et pour ces positions des sources, l'ensemble optique (6) soit agencé pour rapprocher spatialement les faisceaux lumineux des sources grâce à ses propriétés de dispersion chromatique de sorte que le multiplexeur (4) superpose spatialement lesdits faisceaux lumineux,
 - une fixation, le long de la direction de fixation (3), de chaque source (S_1 , S_i , S_N) sur le support (2) à sa position (X_1 , X_i , X_N) précédemment déterminée.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fixation comprend une fixation des sources sur au moins deux axes de fixation parallèles (13, 14, 15) s'étendant le long de la direction de fixation (3).
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que deux sources ayant des positions voisines le long de la direction de fixation ne sont pas fixées sur le même axe de fixation.

- 5 **4.** Procédé selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que chaque source a une forme de quadrilatère, de préférence de carré ou de losange et en ce que, pour au moins une partie des sources les unes à la suite des autres le long de la direction de fixation, chaque source a une de ses diagonales de sa forme de quadrilatère alignée sur un des axes de fixation.
- 10 **5.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que les sources sont réparties sur les différents axes de fixation (13, 14) de sorte qu'à chaque axe de fixation correspond un intervalle de longueur d'onde de travail des sources réparties sur cet axe, de sorte qu'il n'y ait pas d'intersection entre les intervalles de longueur d'onde de travail des différents axes de fixation.
- 15 **6.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que, pour chaque axe de fixation (13, 14, 15) considéré individuellement, on fixe le long de la direction de fixation (3) chaque source (S_1 , S_i , S_N) de cet axe sur le support (2) à sa position (X_1 , X_i , X_N) précédemment déterminée, de sorte que les sources de cet axe soient réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail (λ_1 , λ_i , λ_N).
- 20 **7.** Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que toutes les sources considérées globalement ne sont pas réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail (λ_1 , λ_i , λ_N).
- 25 **8.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que pour l'étape de fixation, on fixe le long de la direction de fixation (3) chaque source (S_1 , S_i , S_N) sur le support (2) à sa position (X_1 , X_i , X_N) précédemment déterminée, de sorte que toutes les sources considérées globalement soient réparties le long de la direction de fixation par ordre croissant de longueur d'onde de travail (λ_1 , λ_i , λ_N).
- 30 **9.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les sources sont réparties sur les différents axes de fixation (13, 14, 15) de sorte qu'à chaque axe de fixation correspond un intervalle de longueur d'onde de travail des sources réparties sur cet axe, de sorte qu'il n'y ait pas d'intersection entre les intervalles de longueur d'onde de travail des différents axes de fixation.
- 35 **10.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les sources sont réparties sur les différents axes de fixation (13, 14, 15) de sorte qu'à chaque axe de fixation correspond un intervalle de longueur d'onde de travail des sources réparties sur cet axe, de sorte qu'il n'y ait pas d'intersection entre les intervalles de longueur d'onde de travail des différents axes de fixation.

- 5 **9.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'ensemble optique comprend un système optique (25) présentant une aberration chromatique latérale, les positions des sources correspondant à une utilisation hors d'axe du système optique.
- 10 **10.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fixation de chaque source comprend une saisie de la source par une pointe aspirante, et un dépôt de la source par la pointe aspirante sur le support.
- 15 **11.** Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'on recouvre de colle le support avant le dépôt de chaque source, et en ce que chaque source est déposée sur la colle.
- 20 **12.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'émetteur (1) comprend une électronique de commande des sources, agencée pour commander chaque source indépendamment des autres sources.
- 25 **13.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend, après la fixation, une association de l'émetteur (1) avec le multiplexeur (4) à son placement (5) considéré lors de la détermination des positions de sources.
- 30 **14.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque source est quasi monochromatique.
- 15.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque source comprend, de préférence est, une diode électroluminescente.

5 **16.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le support (2) est solidaire d'une puce électronique (11) munie de pattes de connexion (12) agencées pour fixer la puce sur un circuit électronique.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'ensemble optique (6) comprend une lentille (25 ; 55) et/ou un prisme (51) et/ou un réseau de diffraction.

10 **18.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le support (2) est muni de motifs en reliefs de sortes que lorsque les sources sont fixées sur le support (2), certaines sources sont fixées sur ces motifs et sont surélevées par rapport à d'autres sources de manière à compenser des aberrations
15 chromatiques longitudinales du multiplexeur spectral.

19. Procédé selon la revendication 18 en combinaison avec l'une quelconque des revendications 2 à 7, caractérisé en ce que les motifs comprennent une marche (43, 44, 45) pour chaque axe de fixation
20 (13, 14, 15), chaque marche (43, 44, 45) ayant une élévation différente des autres marches.

20. Emetteur (1) obtenu par un procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes.

25