

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

②①

**N° 81 21760**

⑤④ Procédé de mesure de la répartition spectrale de la lumière diffusée par des dents ou objets en vue de leur reproduction et moyen de mise en œuvre.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). A 61 C 13/00; G 01 J 3/46; G 01 N 21/84.

②② Date de dépôt..... 20 novembre 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 21 du 27-5-1983.

⑦① Déposant : BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES, établissement public à caractère industriel et commercial. — FR.

⑦② Invention de : René Caye, Gilbert Persin et Jean-Michel Prevosteau.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Michel Bruder,  
10, rue de la Pépinière, 75008 Paris.

L'invention se rapporte a un procédé de mesure de la répartition spectrale de la lumière diffusée par des dents ou des objets en vue de leur reproduction en conservant leurs teintes et à son moyen de mise en oeuvre.

5 En pratique, l'estimation de la teinte des dents en vue de la fabrication d'une prothèse est faite par l'odontologiste en comparant, à l'aide d'une même source d'éclairage, la dent à extraire et les voisines, avec des dents artificielles disposées sur des "teintiers". L'expérience montre qu'en dépit des  
10 précautions prises, on ne peut déterminer avec précision la teinte à reproduire, même en absence de tout phénomène de métamérisme.

De même, le procédé de colorimétrie consistant à mesurer à l'aide d'un photomètre trois quantités de lumière réfléchie  
15 obtenues respectivement dans les trois bandes spectrales : bleue verte et rouge en vue de reconstituer la couleur ainsi définie n'a pu faire disparaître les écarts de coloration observés entre la dent analysée et la prothèse.

Ces écarts peuvent être dûs notamment au fait que deux couleurs peuvent être métamères c'est-à-dire présenter des courbes de dispersion spectrale différentes tout en donnant lieu à une même impression colorée pour un éclairage donné. La détermination d'une teinte par la seule mesure de trois quantités de lumière données dans les bandes spectrales du bleu, du  
25 vert et du rouge ne permet donc pas de définir d'une manière exhaustive la teinte de l'objet reproduit, celui-ci pouvant pour divers éclairages s'écarter sensiblement de la teinte déterminée par ce procédé de colorimétrie.

En outre, les mesures effectuées sur des dents, en vue de  
30 comparer les résultats des prothèses en fonction des méthodes de détermination de leurs teintes, montrent que ces mesures sont sujettes à de nombreuses causes d'écart de teintes. L'une d'elle est la dispersion des couleurs observées selon la zone examinée de la dent.

35 Même en prenant soin d'effectuer des mesures de colorimétrie pour la détermination des différents quadrants d'une dent, par exemple en divisant la surface de la dent par un quadrillage la divisant en neuf parties, on constate pour certaines plaques des écarts sensibles de teintes entre la prothèse et la  
40 dent extraite.

En outre après extraction, la teinte de la dent se modifie.

Il était donc nécessaire de pouvoir procéder de façon pratique à la détermination exacte des teintes des dents ou autres objets - en se fondant sur des mesures de spectrophotométrie qui jusqu'à ce jour ne pouvaient être réalisées, même en laboratoire que sur des surfaces microscopiques de dents extraites ou artificielles.

Connaissant les coefficients  $\bar{X}_\lambda$ ,  $\bar{Y}_\lambda$ ,  $\bar{Z}_\lambda$  d'aptitudes colorimétrique respectivement au rouge, au vert et au bleu de l'œil d'un observateur standard, ainsi que les valeurs de la fonction de dispersion énergétique spectrale  $S(\lambda)$  d'une source de référence, on détermine la fonction  $R(\lambda)$  de la dispersion spectrale de la lumière réfléchie, transmise ou diffuse du corps éclairé par la source et l'on calcule les trois intégrales

$$15 \quad X, Y \text{ et } Z = \int_{380}^{770} (\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})_\lambda \cdot S_\lambda \cdot R_\lambda d\lambda$$

donnant les trois stimulus  $X$ ,  $Y$  et  $Z$  perçus par l'œil.

Ces trois valeurs permettent de calculer les coordonnées chromatiques

$$20 \quad x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \text{et } z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Il suffit donc de connaître deux de ces coordonnées pour définir parfaitement une couleur, la somme  $x+y+z$  étant égale à 1.

La luminance de cette couleur est définie par la relation

$$25 \quad Y \% = \frac{Y}{\sum \bar{Y}_\lambda} \quad \text{dans laquelle } \sum \bar{Y}_\lambda \text{ est la somme des coefficients d'aptitude colorimétrique de l'œil à son maximum de sensibilité spectrale c'est-à-dire pour } \lambda = 555\text{nm.}$$

Si l'on trace la ligne des points dont les coordonnées chromatiques sont celles des couleurs correspondant à chacune des radiations monochromatiques du spectre visible on obtient une ligne se rapprochant d'un triangle. Cette ligne que l'on gradue en longueur d'onde est fermée par la ligne des pourpres qui est la ligne des teintes sensibles reliant le pôle bleu au pôle rouge.

35 Afin de pouvoir exprimer la couleur exacte d'un objet vu dans un éclairage donné il suffit donc de calculer les coordonnées  $x$ ,  $y$  dont la définition vient d'être rappelée et de connaître les coordonnées des sources d'éclairage des objets afin de prévoir les phénomènes de métamérisme.

40 On a donc intérêt dans le cas d'une prothèse dentaire à

exprimer la couleur des quadrants des dents telle qu'elle est vue sous une lumière blanche semblable à celle du jour de coordonnées  $x = 0,3101$  et  $y = 0,3162$  qui correspond à un point voisin du centre du triangle définissant le spectre des couleurs. Si l'on désigne par C cette source de lumière et par M un échantillon, sa teinte est définie par la longueur d'onde  $\lambda_D$  dite dominante. La pureté P de cette couleur est donnée par la valeur  $\frac{CM}{C\lambda_D}$ . Il est donc possible de reproduire toute teinte désirée dès que les coordonnées chromatiques x et y sont données et d'éviter les phénomènes de métamérisme en élaborant un matériau dont la courbe de dispersion spectrale est identique à celle du modèle.

Ainsi l'objet de l'invention est un procédé de mesure microscopique de la répartition spectrale R de la lumière diffusée par les dents et objets de toute nature en vue d'éviter les écarts entre les teintes d'origine et celles des prothèses dentaires ou des copies d'objets, ces mesures effectuées sur la totalité du spectre permettant de déterminer en outre les coordonnées chromatiques (x,y) à partir de la connaissance : des coefficients d'aptitude colorimétrique  $\bar{X}_\lambda$ ,  $\bar{Y}_\lambda$ ,  $\bar{Z}_\lambda$ , des valeurs de la fonction de dispersion énergétique spectrale  $S(\lambda)$  de la source lumineuse blanche et du calcul des valeurs x,y par sommation des valeurs correspondant à toutes les radiations du spectre visible espacées de 10 nm en 10 nm, caractérisé en ce que l'on mesure pour chaque longueur d'onde considérée l'intensité de la lumière réfléchie, transmise ou diffuse I provenant d'une plage donnée de la dent ou de l'objet dont la teinte est à reproduire, cette plage ayant un diamètre de l'ordre de 1 mm et étant choisie, pour chaque partie de l'objet définie par quadrillage, en un lieu préalablement examinée optiquement pour s'assurer qu'elle ne contient aucune fissure profonde et aucune autre défectuosité capable d'affecter la valeur de la fonction  $R(\lambda)$  ces mesures se répartissant sur toute l'étendue du spectre entre 380 nm et 770 nm et sur chacune des plages sélectionnées dans chacune des parties du quadrillage et en ce que l'on calcule les quantités  $R = \frac{Re \times I}{I_e}$  dans laquelle Re est la réflectance connue d'un échantillon donné pour une quantité de lumière  $I_e$  réfléchie, transmise ou diffuse provenant d'un échantillon étalon pour la bande  $(\Delta\lambda)$  et les suivantes.

L'expérience montre qu'en raison de la détermination ainsi

effectuée de  $R(\lambda)$  sur une série de superficie de l'ordre de celle de plages d'un diamètre de 1 mm on peut alors non seulement, reproduire exactement la couleur de l'objet examiné en évitant tout phénomène de métamérisme, quelle que soit la source de lumière utilisée pour le contrôle de cette reproduction, 5  
amis aussi exprimer quelle sera la couleur de l'objet vu sous différents éclairages et notamment sous lumière du jour.

Un autre objet de l'invention est la prévision d'un appareillage de mise en oeuvre du procédé ainsi défini caractérisé 10  
en ce qu'il comprend au moins un moyen de visée optique de la dent ou de l'objet pour l'observation de plages d'un diamètre pouvant varier sur une étendue de quelques dizaines de microns à quelques millimètres, d'un moyen de sélection de bande étroite  $\Delta\lambda$  pour la longueur d'onde choisie  $\lambda$ , d'un photomultiplicateur 15  
et d'un moyen de mesure de l'intensité de lumière réfléchie, transmise ou diffuse pour chaque longueur d'onde sélectionnée.

Cet appareillage a l'avantage, en raison du moyen de visée optique conjugué à l'ensemble des autres moyens, de permettre la sélection d'une plage à l'intérieur de chaque partie du 20  
quadrillage après examen de l'état de surface de la plage considérée et, en raison du moyen de mesure de l'intensité de la lumière reçue, de répéter les mesures pour chaque valeur nouvelle  $\lambda$  à une cadence suffisamment rapide pour effectuer des mesures même in situ c'est-à-dire dans le cas d'un examen 25  
dentaire avant arrachement ou traitement d'une dent.

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront de la description suivante faite en référence aux dessins annexés qui représentent à titre d'exemple non limitatif un mode de réalisation du moyen de mise en oeuvre du procédé objet de 30  
l'invention ainsi que quelques variantes.

Sur les dessins :

La figure 1 représente sous forme schématique un appareillage de mise en oeuvre du procédé utilisant comme moyen de visée un microscope,

35 La figure 2 représente une variante simplifiée de la partie optique de l'appareillage de la figure 1 et,

La figure 3 représente sous forme schématique une variante de l'appareillage utilisant comme moyen de visée une lunette.

L'objet dont la couleur est à déterminer a été représenté 40  
schématiquement en 1 dans l'axe optique 2 du microscope 3 qui

peut être un microrélectomètre conçu pour la mesure de la réflectance des minéraux polis.

Son objectif 4 ayant été supprimé, ce dernier a été représenté en ponctué. Au-dessus de lui, la lame mince à face parallèle 5 reçoit la lumière de bande spectrale  $\Delta\lambda$  choisie provenant du spectromètre à prisme 6 porteur de l'indicateur 7 de la bande choisie. La source lumineuse 8 est une source quelconque dont la dispersion spectrale  $S(\lambda)$  entre 380 et 770 nm est sans importance puisque la méthode de mesure est une méthode de comparaison.

La lumière provenant du prisme 6 est reçue par le collecteur 20, le diaphragme d'ouverture 21, la diaphragme de champ 22 et la lentille de champ 23.

On a intercalé entre la lame mince 5 et l'oculaire 9 une lentille de Bertrand 10 permettant d'obtenir une ouverture numérique de quelques degrés de sorte que l'on peut repérer et observer aisément au moyen de la source 24 et de l'oculaire 9 pourvu du diaphragme de mesure 25, une plage quelconque de l'objet 1 que l'on divise arbitrairement en un certain nombre de parties au moyen d'un quadrillage convenable. Après observation d'une de ces parties ou quadrants. On peut y sélectionner une plage d'un diamètre de l'ordre d'1 mm par exemple dans laquelle on a vérifié qu'il n'existait aucune fissure profonde ou autre défectuosité qui serait susceptible de fausser la détermination de la couleur de l'objet observé.

L'avantage d'un tel système est, qu'en raison de l'utilisation de la lentille de Bertrand 10 dont la distance focale est de l'ordre d'une vingtaine de centimètres, on peut mesurer avec exactitude la réflectance diffuse des dents sur des plages d'aussi petites dimensions qu'on le souhaite et qu'en outre ces mesures ne sont pas faussées par la non planéité des dents ni par l'état superficiel, même en présence de microrayures non profondes de la dent, la dent étant vue de loin et non de près comme dans un microscope ordinaire. Il est donc possible d'obtenir une mesure correcte de la réflectance en prenant en compte les caractères optiques en profondeur de l'émail après réflexion sur les couches sous-jacentes.

Ayant vérifié que toute l'étendue de la plage sélectionnée est exempte de défauts de surface tels que fissures profondes ayant une incidence sur la réflectance, on peut collecter le

faisceau de lumière provenant de la source de mesure 8, la source d'observation 24 devenant inutile. Ayant sélectionné, successivement, de 10 nm en 10 nm, des longueurs d'ondes comprises entre 380 nm et 770 nm, la lumière réfléchie transmise ou  
5 diffuse est reçue par le photomultiplicateur 11 relié à tout indicateur 12 de la mesure de l'intensité lumineuse ainsi reçue.

Ainsi, ayant déterminé une plage de l'objet à examiner on relève au moyen de l'indicateur 12, et successivement pour chaque bande d'ondes  $\Delta\lambda$  de valeur  $\lambda$  les mesures des valeurs des  
10 intensités  $I$  de la lumière provenant de la plage choisie de l'objet afin de déterminer la valeur  $R = \frac{R_e \times I}{I_e}$  la valeur  $R_e$  de l'étalon étant primitivement connue par les mesures usuelles. L'étalon de mesure choisi est de préférence un échantillon blanc de  $\text{BaSO}_4$ .

15 Les valeurs  $I$  et  $I_e$  fournies par l'appareil de mesure 12 peuvent être converties en données numériques que l'on peut éventuellement soit enregistrer et transmettre par tout dispositif enregistreur et émetteur 19, soit transmettre à tout microcalculateur 18 en vue de la détermination des coordonnées  
20 de couleur  $x$  et  $y$  de la plage sélectionnée dans la première zone définie par le quadrillage utilisé.

Il est clair que les supports des divers éléments peuvent être quelconques et que de ce fait ils n'ont pas été représentés. On comprendra de même que les moyens d'alimentation en  
25 tension incorporant la régulation de ces tensions et qui ne constituent pas l'invention en soi n'ont pas été représentés.

A titre de variante on peut remplacer le prisme 6 du spectromètre de la figure 1 par un filtre interférentiel continu  
13 figure 2 que l'on dispose de préférence entre l'oculaire  
30 9 et le photomultiplicateur 11. Dans ce cas, la source 24 de lumière blanche sert à la fois de source de lumière et de source d'observation, l'ensemble des diaphragmes 21, 22 et des lentilles 20, 23 étant supprimé.

Il suffit donc de déplacer le filtre interférentiel continu 13 pour passer d'une longueur d'onde à la suivante, le déplacement du filtre correspondant à un passage à la longueur d'onde suivante  $\lambda + 10 \text{ nm}$ .

Afin de montrer les variantes possibles par remplacement d'un des moyens utilisés dans l'appareillage de mise en oeuvre  
40 du procédé, on a schématisé à la figure 1 un binoculaire d'obser-

vation par son axe optique 26.

Dans la variante de la figure 3 on a remplacé le microscope 3 des figures 1 et 2 par une lunette 17 équipée du support 34 et dont l'objectif 28 est une lentille de Bertrand. L'observation de la dent 30 peut être faite "in vivo" soit au moyen d'un oculaire simple soit d'un binoculaire 26. A cet effet l'axe de l'objectif 28 est horizontal et les sources de mesure et d'observation sont confondues en 24 comme dans le cas de la variante de la figure 2. Après observation de la partie de la dent 30 que l'on examine pour sélectionner une plage d'un diamètre d'1 mm sans défaut risquant de fausser les mesures de réflectance, on procède comme dans le cas de la figure 2, le photomultiplicateur 11 fournissant à l'électronique choisie 12, 19 ou 18 une donnée pour chaque longueur d'onde, la succession de ces données pour chaque longueur d'onde de 10nm en 10 nm s'effectuant sous le contrôle du déplacement du filtre interférentiel continu 13 en dessous du diaphragme de mesure 25.

L'électronique utilisée, schématisée par le calculateur 18 peut inclure des programmes automatiques lorsqu'il s'agit, comme dans le cas des figures 1 et 2, d'examiner des objets et non plus une dent in vivo.

L'observateur ayant repéré une plage donnée dont la réflectance est susceptible d'être mesurée peut transmettre les coordonnées de la platine mobile supportant l'objet de sorte que le calculateur peut, après enregistrement de l'ensemble des plages à analyser, contrôler la totalité des opérations décrites. Les dispositifs de télécommandes pouvant être quelconques, on a représenté la télécommande de la platine 31 par la liaison 32 du calculateur 18 et celle de la commande du filtre interférentiel continu 13, ou du prisme 6 selon le cas, par la liaison 33.

Cependant, même dans le cas d'observation des dents in vivo, il est aisé grâce aux liaisons du photomultiplicateur 11 de l'appareil de mesure 12, et des moyens d'enregistrement et de transmission 19, ou directement à partir de l'électronique 18, de faire suivre la dernière phase de transmission de la valeur I par une phase d'observation d'une autre portion de surface du quadrillage, au cours de laquelle les valeurs des coordonnées chromatiques x, y, et éventuellement celle de la luminance, sont calculées à partir des valeurs I et Ie obtenues pour chaque

bande  $\Delta\lambda$ , les fonctions  $S(\lambda)$ ,  $\bar{X}(\lambda)$ ,  $\bar{Y}(\lambda)$ ,  $\bar{Z}(\lambda)$  et  $R_e$  étant primitivement enregistrées ; la phase de transmission des nouvelles valeurs  $I$  s'effectue après la détermination d'une nouvelle plage d'analyse.

- 5 Les valeurs  $I_e$  peuvent être mesurées et enregistrées soit pour chaque longueur d'onde sélectionnée immédiatement avant ou après la mesure correspondante de  $I$  soit indépendamment des mesures de  $I$  pour **chaque** longueur d'onde sélectionnée. Cette dernière méthode peut être utilisée lorsque le temps séparant
- 10 les mesures des intensités  $I$  et celles des intensités  $I_e$  est inférieur à une valeur déterminée par la stabilité de la source d'éclairage et la stabilité de l'étalon utilisé.

La méthode de mesure automatique et alternée des intensités  $I$  et  $I_e$  pour chaque longueur d'onde choisie s'effectue aisément

15 au laboratoire par déviation automatique alternée du faisceau incident sur l'objet et sur l'étalon.

### REVENDEICATIONS

1°) Procédé de mesure microscopique de la répartition spectrale de la lumière diffusée par des dents et objets de toute nature en vue d'éviter les écarts entre les teintes d'origine et celles des prothèses dentaires ou des copies d'objets, ces mesures étant effectuées sur la totalité du spectre visible et permettant de déterminer en outre les coordonnées chromatiques (x,y) à partir de la connaissance : des coefficients d'aptitude colorimétrique  $\bar{X}_\lambda$ ,  $\bar{Y}_\lambda$ ,  $\bar{Z}_\lambda$  et des valeurs de la fonction de dispersion énergétique spectrale  $S(\lambda)$  de la source de lumière blanche et du calcul des valeurs x,y par sommation des valeurs correspondant à toutes les radiations du spectre visible espacées de 10 nm en 10 nm caractérisé en ce que l'on mesure pour chaque longueur d'onde considérée l'intensité de la lumière réfléchie, transmise ou diffuse I provenant d'une plage donnée de la dent ou de l'objet dont la teinte est à reproduire, cette plage ayant un diamètre de l'ordre de 1 mm et étant choisie pour chaque partie de l'objet définie par quadrillage en un lieu préalablement examiné optiquement pour s'assurer qu'elle ne contient aucune fissure profonde ou défectuosité capable d'affecter la quantité R, ces mesures se répartissant sur toute l'étendue du spectre entre 380 nm et 770 nm et sur chacune des plages sélectionnées dans chacune des parties du quadrillage ou quadrant et en ce que l'on calcule les quantités

$$R = \frac{R_e \times I}{I_e}$$

dans laquelle  $R_e$  est la réflectance connue d'un échantillon donné pour une quantité de lumière  $I_e$  réfléchie, transmise ou diffuse provenant d'un échantillon étalon pour la bande  $\Delta\lambda$  et les suivantes.

2°) Procédé tel que revendiqué en 1 selon lequel chaque phase d'observation d'une portion de surface définie par un quadrillage est suivie d'une phase de sélection d'une plage de cette portion en vue de son analyse, d'une phase de sélection de la longueur d'onde et de la transmission de la valeur I de l'intensité de la lumière réfléchie, transmise ou diffusée par cette plage à un poste d'enregistrement et ou de calcul, cette dernière phase se répétant entre 380 et 770 nm pour chaque bande de longueur d'onde, la valeur  $R_e$  pour chaque longueur d'onde étant primitivement enregistrée.

3°) Procédé tel que revendiqué en 2 selon lequel la dernière phase de transmission de la valeur I est suivie d'une

phase d'observation d'une autre portion de surface du quadrillage au cours de laquelle les valeurs des coordonnées chromatiques  $x$ ,  $y$  ainsi que celle de la luminance sont calculées à partir des valeurs  $I$  obtenues pour chaque  $\lambda$ , les fonctions  $S(\lambda)$ ,  $\bar{x}_\lambda$ ,  $\bar{y}_\lambda$ ,  $\bar{z}_\lambda$ ,  $R_e$  et  $I_e$  étant primitivement enregistrées, la phase de transmission des nouvelles valeurs  $I$  s'effectuant après un choix d'une nouvelle plage d'analyse.

4°) Appareillage pour la mise en oeuvre du procédé revendiqué dans l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce qu'il comprend au moins un moyen de visée optique de la dent ou de l'objet (1) pour observer des plages d'un diamètre variant de quelques dizaines de microns à quelques mm et pour transmettre des faisceaux de lumière réfléchie transmise ou diffuse de la dent ou de l'objet, d'un diamètre de l'ordre du mm à un photomultiplicateur (11), d'un moyen de sélection (6,7,13) de la bande étroite de longueur d'onde choisie, d'un moyen de mesure (12) de la quantité de lumière réfléchie, transmise ou diffuse de la plage observée.

5°) Appareillage tel que revendiqué en 4 dont le moyen de visée est un microscope (3) pourvu d'une lentille de Bertrand (10) et dont l'objectif (4) est supprimé.

6°) Appareillage tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 4 et 5 dont le moyen de sélection de la bande  $\Delta\lambda$  est un spectromètre à prisme (6).

7°) Appareillage tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 4 et 5 dont le spectromètre est un filtre interférentiel continu (13).

8°) Appareillage tel que revendiqué en 4 dont l'appareil de visée est une lunette (17) dont l'objectif (10) est la lentille de Bertrand d'un microscope.

9°) Appareillage tel que revendiqué en 3 pourvu d'un filtre interférentiel continu (13) sur l'axe vertical de l'appareil comportant un diaphragme de mesure (25) entre le filtre (13) et le photomultiplicateur (11).

10°) Appareillage tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 4 à 9 dont l'appareil de mesure (12) de la quantité de lumière provenant du photomultiplicateur (11) est connecté à un moyen de transmission (19).

11°) Appareillage tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 4 à 10 dont l'appareil de mesure (12) de

l'intensité de la lumière convertie en intensité électrique par le photomultiplicateur (11) est connecté à un ordinateur (18).

12°) Appareillage tel que revendiqué en 11 dont le calculateur (18) contrôle le déplacement de la platine (31) et le changement de longueur d'onde (33).

Pl 12

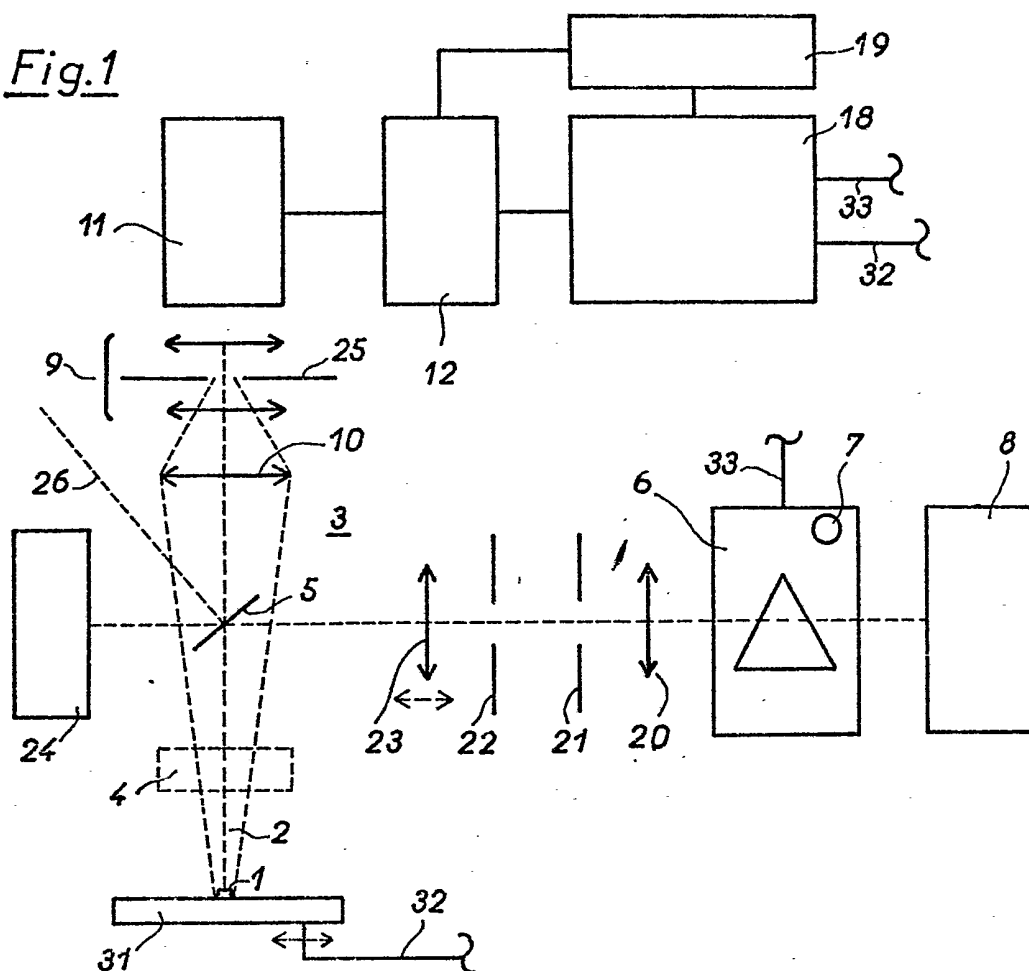
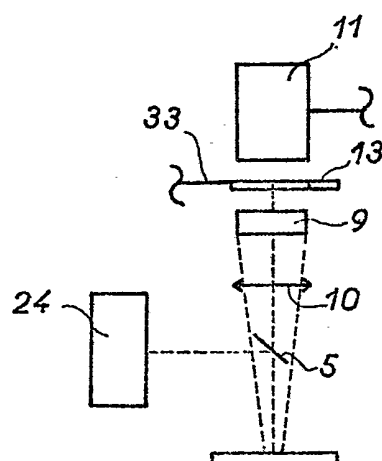
Fig. 1Fig. 2

Fig. 3

