

ROYAUME DE BELGIQUE

NUMERO DE PUBLICATION : 1017316A7

SPF ECONOMIE, P.M.E.,
CLASSES MOYENNES & ENERGIE

NUMERO DE DEPOT : 2006/0429

Classif. Internat. : G01N

Date de délivrance le : 03 Juin 2008

Office de la Propriété intellectuelle

Le Ministre de l'Economie,

Vu la Convention de Paris du 20 Mars 1883 pour la Protection de la propriété intellectuelle;

Vu la loi du 28 Mars 1984 sur les brevets d'invention, notamment l'article 22;

Vu l'arrêté royal du 2 Décembre 1986 relatif à la demande, à la délivrance et au maintien en vigueur des brevets d'invention, notamment l'article 28;

Vu le procès verbal dressé le 11 Août 2006 à 15H00 à l'Office de la Propriété Intellectuelle

ARRETE:

ARTICLE 1.- Il est délivré à : SARIN TECHNOLOGIES Ltd.
Hahilazon Street 4, IL-52522 RAMAT-GAN(ISRAEL)

représenté(e)s par : BIRD William, BIRD GOEN & CO., Klein Dalenstraat 42a, - B 3020 WINKSELE.

un brevet d'invention d'une durée de 6 ans, sous réserve du paiement des taxes annuelles, pour : APPAREIL POUR DETERMINER LE FORME D'UNE GEMME.

INVENTEUR(S) : Kerner Abraham, Smilansky Street 1, IL-46361 Herzelia (IL); Ariel Yedidya, Harav Neriya Street 120, IL-71935 Dolev (IL); Arad Nur, Anatot Street 33, IL-69080 Tel Aviv (IL)

PRIORITE(S) 08.06.06 ILILA 176196

ARTICLE 2.- Ce brevet est délivré sans examen préalable de la brevetabilité de l'invention, sans garantie du mérite de l'invention ou de l'exactitude de la description de celle-ci et aux risques et périls du(des) demandeurs(s).

Pour expédition certifiée conforme

Bruxelles, le 03 Juin 2008
PAR DELEGATION SPECIALE :
DRISQUE S.
Conseiller
S. DRISQUE
Conseiller**.be**

APPAREIL POUR DETERMINER LA FORME D'UNE GEMME

DOMAINE DE L'INVENTION

Cette invention concerne un appareil pour
5 l'inspection d'une gemme afin de déterminer sa forme.

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

Les gemmes finies qui sont disponibles pour le
consommateur sont taillées dans une gemme brute. Afin
de déterminer la manière optimale de tailler ou scier
10 la gemme brute, elle doit d'abord être inspectée.

Cette inspection peut être réalisée par un
professionnel qualifié, qui marque alors la gemme brute
de ligne(s) de sciage pour indiquer au lapidaire
comment former une ou plusieurs pierres finies à partir
15 de la pierre brute.

Alternativement, des systèmes ont été élaborés
pour inspecter et tracer automatiquement les lignes de
sciage sur les pierres brutes. Ces systèmes commencent
habituellement par cartographier la pierre brute afin
20 de déterminer sa forme, puis ils déterminent la

meilleure façon de la tailler et y tracent pour finir une ligne de sciage. Un exemple de ce système de cartographie et de marquage est le DiaMark™ fabriqué par Sarin Technologies Ltd, Ramat Gan, Israël.

5 Dans ce dernier type de système, une gemme devant être cartographiée est tournée, sa silhouette tridimensionnelle est déterminée et sa surface est représentée sous forme d'image dans une pluralité de positions angulaires de la pierre, de sorte que la
10 forme de la pierre est déterminée en incluant les concavités à sa surface.

Une manière de cartographier une gemme est décrite dans le brevet US 6 567 156 du demandeur, où, afin de déterminer les concavités à la surface d'une gemme, une
15 légère triangulation structurée est utilisée, dans laquelle un faisceau laser est dirigé sur la pierre dans diverses positions angulaires de celle-ci, son reflet est capté et comparé au reflet qui serait reçu d'une gemme hypothétique ayant la même silhouette en
20 tridimensionnelle. Des défauts et concavités sont indiqués par des déviations du reflet capté par rapport à celui qui serait détecté sur la gemme hypothétique.

RESUME DE L'INVENTION

Selon un aspect de la présente invention, il est
25 proposé un appareil pour déterminer la forme d'une gemme incluant des irrégularités (par exemple, des concavités et des défauts) à sa surface, l'appareil comprenant une plate-forme conçue pour soutenir la gemme, un système formant scanneur (système de
30 numération par balayage) conçu pour fournir des informations géométriques (telles que des coordonnées cartésiennes ou polaires) concernant l'enveloppe convexe tridimensionnelle de la gemme, un système d'éclairage conçu pour projeter un éclairage sur la
35 gemme sous la forme d'au moins deux faisceaux laser le

long de deux chemins optiques distincts, un système d'imagerie conçu pour capter au moins une partie dudit éclairage quand il est réfléchi par la gemme, et un processeur conçu pour déterminer ladite forme à partir de l'éclairage capté et des informations géométriques, l'appareil étant conçu pour tourner la gemme par rapport au système d'éclairage autour d'un axe de rotation, et au moins un desdits chemins optiques est espacé de l'axe.

10 Selon un autre aspect de la présente invention, il est proposé un appareil pour déterminer la forme d'une gemme incluant des irrégularités à sa surface, la gemme ayant une taille n'étant pas supérieure à une taille maximale prédéterminée, l'appareil comprenant une plate-forme conçue pour soutenir la gemme, un système formant scanneur conçu pour fournir des informations géométriques concernant l'enveloppe convexe tridimensionnelle de la gemme, un système d'éclairage conçu pour projeter un éclairage sur la gemme sous la forme d'une pluralité de faisceaux laser, un système d'imagerie conçu pour capter au moins une partie de l'éclairage quand il est réfléchi par la gemme, et un processeur conçu pour déterminer ladite forme sur base de l'éclairage capté et desdites informations géométriques, la pluralité de faisceaux laser comprend un premier faisceau laser extrême, un second faisceau laser extrême, et le reste des faisceaux laser étant entre eux, lesdits faisceaux laser extrêmes étant espacés l'un de l'autre au moins aux abords de la plate-forme à une distance supérieure à ladite taille maximale de la gemme.

Dans l'appareil selon les deux aspects ci-dessus de l'invention, le processeur peut fournir ladite forme sous la forme d'une représentation tridimensionnelle de la gemme, qui peut être affichée ou utilisée de toutes

les façons connues dans la technique.

Les faisceaux laser peuvent être linéaires ou d'une autre forme appropriée.

La rotation relative de la gemme par rapport au système d'éclairage peut être assurée par la rotation de la plate-forme ou la rotation du système d'éclairage et du système d'imagerie.

Conformément à un mode de réalisation de l'appareil de cet aspect de l'invention, le système d'éclairage peut comprendre une source laser à faisceaux multiples, et conformément à un autre mode de réalisation, il peut comprendre au moins deux sources laser, chacune d'entre elles projetant au moins un faisceau laser. Dans les deux modes de réalisation, il est suggéré que les chemins optiques de deux faisceaux laser adjacents forment entre eux un angle prédéterminé, ledit angle et la distance entre le système d'éclairage et la plate-forme soutenant la gemme étant tels qu'ils garantissent que les deux chemins optiques des faisceaux laser passent à travers une gemme d'une taille minimale prédéterminée, devant être examinée par l'appareil. Cet angle peut, par exemple, se situer entre $0,05^\circ$ et 10° .

Le système d'imagerie peut comprendre une caméra ayant un détecteur tel qu'un CCD.

Le système formant scanneur peut comprendre au moins le système d'imagerie et une source de lumière faisant face à la plate-forme et disposée sensiblement à l'opposé du système d'imagerie, afin de déterminer les silhouettes de la gemme dans une pluralité de positions angulaires de celle-ci, auquel cas l'enveloppe convexe peut être un composite des silhouettes de la gemme calculé par le processeur.

Selon un autre aspect de la présente invention, il est proposé un appareil pour déterminer la forme d'une

gemme incluant des irrégularités à sa surface, comprenant une plate-forme conçue pour soutenir la gemme, un système formant scanneur (système de numérisation par balayage) conçu pour fournir des
5 informations géométriques concernant l'enveloppe convexe tridimensionnelle de la gemme, un système d'éclairage conçu pour projeter sur la gemme une pluralité de faisceaux laser, un système d'imagerie conçu pour capter des reflets d'au moins une partie
10 desdits faisceaux laser depuis la surface la gemme, et un processeur conçu pour calculer, sur la base desdites informations géométriques, un reflet prédit de chaque faisceau laser, afin de comparer les reflets captés avec lesdits reflets prédits et de relier chaque reflet
15 capté à son reflet prédit correspondant, pour déterminer ladite forme de la gemme sur base de la comparaison et desdites informations géométriques.

Selon cet aspect, un balayage simultané par de multiples faisceaux laser est facilité. Ainsi, une
20 seule rotation est requise pour obtenir les balayages des différents faisceaux laser, réduisant ainsi le temps total nécessaire pour le balayage.

En reliant chaque reflet capté à son reflet prédit correspondant, l'utilisation d'une pluralité de
25 faisceaux laser projetés en même temps est rendue possible.

Selon un mode de réalisation, la mise en relation est accomplie en déterminant la proximité de chacun des reflets captés avec un reflet prédit.

30 Selon un autre mode de réalisation, la mise en relation est accomplie en déterminant le côté duquel chaque reflet capté tombe par rapport à chaque reflet prédit.

Selon un mode de réalisation supplémentaire,
35 chaque faisceau laser a une longueur d'onde différente,

dans lequel la mise en relation est réalisée sur la base de sa longueur d'onde.

5 Selon un autre mode de réalisation supplémentaire, chaque faisceau laser est projeté à un moment différent. La mise en relation est réalisée en déterminant le faisceau laser qui correspond au moment auquel chacun des reflets captés est capté.

10 Il va être apprécié que selon l'un quelconque des aspects ci-dessus, quand de multiples faisceaux laser sont projetés depuis une source unique, la gemme peut être tournée plus vite, réduisant ainsi le temps nécessaire pour balayer la surface d'une gemme entière. Ceci est dû au fait que, pour chaque position angulaire de la gemme, une plus grande zone de la surface de la
15 gemme est balayée en comparaison avec le balayage avec un faisceau laser unique. Par conséquent, le balayage de la gemme peut être réalisé dans moins de positions angulaires de celle-ci sans réduire la précision, du moins en comparaison avec un balayage par un faisceau
20 laser unique provenant d'une source de faisceau laser.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

Afin de comprendre l'invention et de voir comment elle peut être mise en oeuvre dans la pratique, des modes de réalisation vont maintenant être décrits,
25 uniquement à titre d'exemples non limitatifs, en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1A est une représentation schématique d'un exemple d'appareil selon la présente invention ;

30 la figure 1B est une représentation schématique de l'appareil représenté à la figure 1A, montrant des faisceaux laser projetés ;

la figure 1C est une représentation schématique d'un autre exemple de l'appareil représenté à la figure 1A, montrant des faisceaux laser projetés ;

35 la figure 1D est un agrandissement d'un système

d'éclairage et d'une plate-forme de l'appareil représenté à la figure 1B ;

la figure 1E est l'agrandissement de la figure 1D, avec une gemme soutenue par la plate-forme ;

5 la figure 2A est une vue schématique en perspective d'une gemme ayant un défaut concave ;

la figure 2B est une vue générale d'une silhouette de la gemme représentée à la figure 2A, l'emplacement du défaut étant indiqué ;

10 la figure 3 représente la gemme montrée à la figure 1, avec une pluralité de faisceaux laser qui la chevauchent ;

la figure 4A représente des reflets prédits de cinq faisceaux laser provenant d'un système d'éclairage laser, à partir d'une enveloppe convexe de la gemme ;

15 la figure 4B représente les reflets captés des faisceaux laser se réfléchissant sur la gemme ;

la figure 4C représente les reflets prédits de la figure 4A superposés aux reflets captés représentés à la figure 4B ;

20 les figures 5A à 5G représentent des points calculés à la surface de la gemme représentée aux figures 3A à 3C, sur une section transversale de celle-ci ;

25 la figure 6 représente les points des figures 5A à 5G superposés ;

la figure 7 représente une section transversale de l'enveloppe convexe de la gemme ;

30 la figure 8A représente la vue générale calculée de la gemme ;

la figure 8B représente la section transversale de la figure 7 superposée à la vue générale calculée de la figure 8A ;

35 la figure 9 est une représentation schématique d'un autre exemple d'appareil selon la présente

invention ;

la figure 10A est une vue de côté d'une gemme ;

les figures 10B à 10J (la figure 10I a été intentionnellement omise) sont des vues de dessus de la
5 gemme représentée à la figure 10A, dans différentes positions angulaires ;

les figures 11A et 11B représentent une gemme, dans différentes positions angulaires, avec un faisceau laser unique qui tombe sur celle-ci ;

10 les figures 11C et 11D représentent la gemme montrée aux figures 11A et 11B dans d'autres positions angulaires, avec un faisceau laser unique supplémentaire provenant d'une seconde source qui la chevauche ; et

15 les figures 11E à 11J (la figure 11I est intentionnellement omise) représentent la gemme montrée aux figures 11A à 11D, avec plusieurs faisceaux laser provenant d'une source unique qui tombent sur la gemme.

DESCRIPTION DETAILLEE DES MODES DE REALISATION

20 Ainsi que la figure 1A le représente schématiquement, il est proposé un appareil, indiqué de manière générale par le numéro 10, comprenant une plate-forme de soutien de gemme 14 (également appelée "dop" dans la technique), un processeur 26 et un
25 dispositif de cartographie (non désigné) incluant un système de numérisation par balayage (système formant scanner) 15 et un système d'éclairage laser 24. L'appareil comprend de plus un moyen (non représenté)
30 14 et le dispositif de cartographie autour d'un axe de rotation X. Cela peut être obtenu soit par rotation de la plate-forme 14, soit par rotation du dispositif de cartographie.

L'appareil 10 est conçu pour déterminer la forme
35 de gemmes comprenant des irrégularités à leur surface,

en montant chaque gemme de ce type sur la plate-forme 14 et en la cartographiant à l'aide du dispositif de cartographie, la dimension transversale des gemmes se trouvant à une hauteur prédéterminée le long de l'axe de rotation **X**, non inférieure à une dimension minimale D_{\min} et non supérieure à une dimension maximale D_{\max} . La figure 2A représente une telle gemme 12 ayant une concavité 28.

Le système de numérisation par balayage 15 inclut un éclairage en contre-jour 16 et un système d'imagerie 22 situé sur un axe optique O_1 croisant l'axe de rotation **X**. Il est conçu pour déterminer les silhouettes de la gemme 12 dans une pluralité de positions angulaires de celle-ci. La vue générale d'une telle silhouette est indiquée par la ligne 32a à la figure 2B, et telle qu'on la voit, elle n'inclut pas la concavité 28, indiquée par les pointillés 32b.

Le système d'imagerie 22 comprend habituellement une partie d'appareil photo 18, qui peut être un CCD ou un autre dispositif photosensible, et une partie optique 20, qui peut comprendre des lentilles (non indiquées) conçues pour projeter la lumière depuis l'éclairage en contre-jour 16 et les faisceaux laser réfléchis depuis la gemme vers la partie d'appareil photo. L'optique 20 peut être un agencement télécentrique de lentilles, tel que connu dans la technique. L'utilisation d'un tel agencement présente l'avantage que lorsque de la lumière diffuse est réfléchie par la gemme, seuls les rayons parallèles à l'axe optique du système d'imagerie 22 atteignent la partie d'appareil photo 18.

Le système d'éclairage 24 a un axe optique O_2 coupant l'axe O_1 au niveau de l'axe de rotation **X** et définissant avec l'axe optique O_1 un angle aigu (non désigné) de manière à permettre au système d'imagerie

de capter au moins une partie de l'éclairage projeté par le système d'éclairage **24** quand il est réfléchi par la gemme.

Le système d'éclairage **24** est conçu pour produire
5 une pluralité de faisceaux laser **21** le long de leurs différents chemins optiques respectifs, passant tous à travers un plan **P** qui comprend l'axe de rotation **X** et qui est orienté perpendiculairement à l'axe optique O_2 . Les chemins optiques des faisceaux laser peuvent être
10 parallèles à l'axe optique O_2 , ou peuvent former des angles avec lui. Dans le premier cas, le système d'éclairage **24** peut inclure un assemblage de sources laser, comme montré à la figure 1B, et dans le second cas, il peut inclure une source unique à faisceaux
15 multiples, tel que montré à la figure 1C.

Comme on le voit à la figure 1D, la pluralité de faisceaux laser inclut deux faisceaux laser extrêmes **21a** dont les chemins optiques croisent le plan **P** à des emplacements espacés les uns des autres par une
20 distance supérieure à D_{max} . Cette distance peut, par exemple, se situer entre 10 mm et 40 mm. La pluralité de faisceaux laser se caractérise de plus par un pas entre deux faisceaux laser adjacents tel que des chemins optiques de deux faisceaux laser adjacents
25 coupent le plan imaginaire **P** à des emplacements espacés l'un de l'autre par une distance inférieure à D_{min} . Cette distance peut, par exemple, se situer entre 0,5 mm et 3 mm.

En disposant les faisceaux laser de la manière
30 décrite en connexion avec la figure 1D, une représentation optimale sous forme d'image de la surface complète de la gemme peut être réalisée. La résolution de l'image finale de la gemme dépend du pas entre les faisceaux laser adjacents, ainsi que cela va
35 apparaître plus bas. En s'assurant que la répartition

totale des faisceaux laser (définie comme l'espacement ou pas entre les faisceaux laser extrêmes **21a**) coupe le plan **P** sur une distance qui est supérieure à la dimension maximale D_{\max} de la gemme, le maximum de la surface de la gemme est représenté sous forme d'image dans chaque position angulaire de la gemme.

La gemme **12** représentée à la figure 1E est frappée par des faisceaux laser **21** aux points **23** et n'est pas frappée par les faisceaux laser **21a**. Il va être remarqué que d'autres gemmes peuvent être proposées qui, outre le fait qu'elles ne sont pas frappées par des faisceaux laser extrêmes **21a**, ne sont pas frappées par certains des faisceaux laser **21**.

Les faisceaux laser peuvent prendre n'importe quelle forme appropriée, par exemple, ils peuvent être ainsi faits que leur intersection avec le plan **P** forme une ligne droite ou courbe, ou un point.

Un exemple de système d'éclairage laser qui peut être utilisé dans l'appareil décrit est le laser 733L SNF commercialisé par StockerYale of Salem, Massachusetts, Etats-Unis d'Amérique. Le pas p entre les faisceaux laser adjacents est de $0,38^\circ$, et 33 faisceaux laser sont projetés. La longueur d'onde des faisceaux laser peut varier entre 635 nm et 830 nm.

Le processeur **26** est conçu pour commander le fonctionnement de l'appareil, calculer une composite des silhouettes de la gemme pour fournir une enveloppe convexe de celle-ci, calculer des reflets prédits de chaque faisceau laser sur base de l'enveloppe convexe calculée, comparer les reflets captés des faisceaux laser avec le reflet prédit de ces derniers, comme cela est expliqué ci-dessous, et ainsi déterminer la forme de la gemme, y compris les concavités.

Lors de l'utilisation, la gemme **12** est placée sur la plate-forme **14**. La gemme peut être une pierre

taillée ou une pierre brute et elle peut être recouverte d'une substance diffuse amovible telle que connue de la technique, par exemple dans le brevet US 6 567 156, dont la colonne 3, ligne 47 à la colonne 4, ligne 2 sont intégrées ici par voie de référence. La plate-forme 14 est tournée sur deux rotations complètes.

Pendant la première rotation, l'éclairage en contre-jour 16 éclaire la pierre. Le système d'imagerie 22 balaye la pierre en captant son image dans chacune des positions d'un premier ensemble de positions angulaires prédéterminées. Chacune de ces images est une silhouette de la pierre. A partir des silhouettes, une représentation tridimensionnelle de la gemme 12 est calculée par le processeur 26.

Etant donné que cette représentation est calculée en utilisant des images de silhouette, aucune caractéristique concave (par exemple, des concavités) de la gemme 12 ne va être représentée, ainsi que montré aux figures 2A et 2B.

Il va être remarqué que, puisque afin de calculer l'enveloppe convexe, le processeur 26 doit connaître la position angulaire de la gemme 12 correspondant à chacune des silhouettes, la rotation de la plate-forme 14 peut être commandée de cette façon.

Une fois que l'enveloppe convexe a été calculée, le processeur 26 exécute deux processus : un processus de prévision et un processus d'affinement. Au cours du processus de prévision, le processeur 26 prédit, sur base de la supposition que la géométrie réelle de la pierre correspond à celle de l'enveloppe convexe, où le chemin du reflet capté de chaque faisceau laser sera détecté par le système d'imagerie. Au cours du processus d'affinement, le processeur 26 compare les reflets captés de chaque faisceau laser avec les

résultats de l'étape de prévision afin d'identifier les emplacements et géométries de concavités à la surface de la gemme. Ces deux processus vont être décrits ci-dessous.

5 Le processus de prévision tire parti du fait que l'on connaît la disposition du système d'éclairage **24** par rapport au système d'imagerie **22**. Par conséquent, le processeur prédit, pour chacune des positions du second ensemble de positions angulaires de la gemme, la
10 manière selon laquelle un faisceau laser provenant du système d'éclairage va être réfléchi, en supposant que la forme réelle de la gemme correspond à la forme de l'enveloppe convexe. Chaque point prédit (dans le cas où la source d'éclairage **24** devant être utilisée
15 projette un faisceau laser linéaire) ou ligne prédit (dans le cas où la source d'éclairage projette un faisceau laser plan) est appelé *reflet prédit*. La prévision peut être réalisée par tout procédé connu, comme la triangulation. Cette prévision peut être
20 réalisée n'importe quand après le premier tour (la première rotation).

Afin que le processus d'affinement se poursuive, la gemme **12** subit une seconde rotation. Pendant la seconde rotation, le système d'éclairage **24** projette
25 des faisceaux laser sur la gemme. Les reflets des faisceaux laser sont captés par le système d'imagerie **22** dans chacune des positions d'un second ensemble de positions angulaires prédéterminées de la gemme pendant la seconde rotation. Ces positions peuvent être les
30 positions dans lesquelles les silhouettes de la gemme ont été captées pendant la première rotation.

Il va être remarqué que, alors que la seconde rotation et la projection de faisceaux laser depuis le système d'éclairage **24** sur la gemme **12** sont une étape
35 nécessaire au processus d'affinement, il n'est pas

nécessaire de les réaliser après le processus de prévision. La seconde rotation et l'éclairage associé peuvent être réalisés et seulement alors la prévision et l'affinement peuvent être réalisées. Comme variante, 5 pour chaque position angulaire de la gemme, les trois processus peuvent être exécutés simultanément.

Les reflets captés de chaque faisceau laser peuvent être visuellement comparés avec ses reflets prédits correspondants. On peut déterminer qu'il n'y a 10 pas de concavité dans des emplacements où le reflet capté correspond sensiblement au reflet prédit. Si le reflet capté tombe du côté du reflet prévu, alors on peut déterminer qu'il y a une concavité à cet emplacement. L'étendue de la concavité est déterminée 15 par l'étude de la déviation par triangulation.

Par exemple, les faisceaux laser sont projetés sur la gemme **12**, comme montré à la figure 3. Des lignes **40** indiquent où les faisceaux laser tombent (sont incidents) sur la gemme. La figure 4A représente une 20 série de reflets prédits **34a** à **34e**. Chacune de ces lignes correspond au reflet prédit d'un des faisceaux laser du système d'éclairage **24** se reflétant sur une gemme ayant une forme qui correspond à la forme de l'enveloppe convexe, où chaque faisceau laser est plan. 25 Il faut remarquer que les reflets prévus représentés sont calculés pour une seule position angulaire de la gemme. La figure 4B représente les reflets captés **36a** à **36e**, respectivement, de chacun des faisceaux laser quand la gemme se trouve dans la même position 30 angulaire utilisée pour calculer les reflets prédits. Les reflets captés **36a** à **36e** sont en réalité le point sur la gemme physique d'où le faisceau laser était réfléchi. Cela est déterminé, par exemple, à l'aide de la triangulation connue en soi dans la technique. La 35 figure 4C représente les reflets captés **36a** à **36e**

superposés à leurs reflets prédits correspondants **34a** à **34e**.

Au cours du processus d'affinement, le processeur **26** détermine quel reflet capté **36a** à **36e** correspond à quel reflet prédit **34a** à **34e** en notant où il tombe par rapport à celui-ci ; les reflets captés provenant de concavités tomberont toujours du même côté du reflet prédit. Si le faisceau laser est projeté depuis le côté droit de la gemme, le reflet capté tombera à gauche de son reflet prédit correspondant. Comme variante, le système d'éclairage pourrait être conçu pour projeter des faisceaux laser ayant différentes longueurs d'onde (c'est-à-dire couleurs) ou peut projeter chacun des faisceaux laser à un moment différent afin de les différencier les uns des autres.

Une fois que la correspondance entre les reflets captés **36a** à **36e** et leur reflet prédit correspondant **34a** à **34e** est déterminée, l'emplacement des concavités est visible aux déviations entre les reflets prédits et les reflets captés, par exemple, aux emplacements **38**.

Pour chaque section transversale de la gemme, comme celle indiquée par la ligne II-II à la figure 3, la vue générale est calculée. Pour chaque faisceau laser, pour chaque position angulaire sur la gemme, les points d'incidence du faisceau sur la section transversale sont calculés, par exemple, par triangulation. Les points associés à un faisceau laser unique et la section transversale pour toutes les positions angulaires sont agrégés, comme montré aux figures 5A à 5G pour sept faisceaux laser typiques. L'axe de rotation de la pierre porte la référence **40**.

Il va être observé que pas tous les côtés de la gemme ont des points associés à ceux-ci à toutes les positions angulaires. Néanmoins, comme on le voit à la figure 6, lorsque toutes les images sont superposées,

une image complète de la vue générale de la gemme au niveau de la section transversale émerge.

En plus de ce qui précède, la section transversale de l'enveloppe convexe, indiquée de manière générale par **42** à la figure 7, peut être calculée. Ce calcul constitue une partie du processus de prévision et peut être réalisé à tout moment.

Une ligne, indiquée de manière générale par **44** et correspondant à l'image de la vue générale montrée à la figure 6, est calculée par le processeur, telle que représentée à la figure 8A. Par comparaison, la figure 8B représente la droite **44** superposée à la section transversale **42** de l'enveloppe convexe. Lors du calcul de la droite **44**, plusieurs considérations peuvent être prises en compte. A cause d'erreurs opérationnelles normales, telles que le bruit, les vibrations, etc., plusieurs reflets captés peuvent donner des informations imprécises concernant l'emplacement où son faisceau laser respectif tombe sur la pierre. Par conséquent, on peut ne pas tenir compte de points largement différents de points obtenus par d'autres faisceaux laser dans la même zone. De même, on peut ignorer des points qui se trouvent hors de la section transversale de l'enveloppe convexe.

Ainsi qu'on le voit ci-dessus, en prévoyant plusieurs faisceaux laser pour la représentation sous forme d'image, davantage de points à la surface de la gemme sont représentés plusieurs fois, la ligne **44** étant ainsi calculée plus précisément. En outre, particulièrement dans des concavités profondes, un faisceau laser unique sera insuffisant pour cartographier toute la surface de celles-ci ; d'autres explications sont fournies ci-dessous.

Aux figures 11A et 11B, un faisceau laser **50** frappe une gemme **12** ayant une concavité **28** et le

faisceau laser est réfléchi le long du chemin 50a. La
gemme tourne dans le sens indiqué par la flèche 51.
Lorsque la gemme 12 tourne, le faisceau laser 50 frappe
différentes parties de la surface de la gemme 12. Dans
5 la plage angulaire (c'est-à-dire de rotation) de la
gemme pendant laquelle le faisceau laser 50 peut à la
fois entrer dans la concavité et en être réfléchi dans
la direction du dispositif d'imagerie 22 (les positions
extrêmes de cette plage étant représentées aux figures
10 11A et 11B), seule la zone 55 est représentée sous
forme d'image par le faisceau laser unique.

Ainsi que les figures 11C et 11D le représentent,
l'ajout d'un second faisceau laser 150, qui est
réfléchi le long du chemin 150a, provenant d'une
15 direction différente, n'aide que de façon limitée, car
seule la zone 155 est ainsi représentée sous forme
d'image.

Deux facteurs contribuent au manque de
représentation sous forme d'image de la concavité quand
20 seul un faisceau laser unique est projeté depuis chaque
direction. Le premier est que le faisceau laser ne peut
pas atteindre toutes les surfaces de la concavité. Le
second est que même parmi ces points sur lesquels tombe
le faisceau laser, la ligne de visée entre le point et
25 le système d'imagerie peut être bloquée par une paroi
opposée de la concavité.

Ainsi qu'on le voit des figures 11E à 11J, quand
une pluralité de faisceaux laser 50 est projetée sur la
gemme depuis la même direction dans diverses positions
30 angulaires, des parties de la concavité 28, qui n'est
pas frappée par un faisceau laser unique, sont
représentées sous forme d'image. De plus, un plus grand
nombre de reflets des faisceaux laser sera détecté par
le dispositif d'imagerie 22. Il en résulte que la zone
35 55 qui est représentée sous forme d'image est plus

grande que celle qui peut être obtenue au moyen d'un faisceau laser unique provenant de chaque source uniquement.

5 En plus de ce qui précède, il va être remarqué qu'en prévoyant plusieurs faisceaux laser, la surface représentée sous forme d'image de la gemme sera plus grande et représentée plus d'une fois, ce qui fournit une exactitude plus grande, moins de bruit et donc une image plus affinée.

10 Bien que le système d'éclairage **24**, tel que représenté à la figure 1, comprenne une source unique de laser conçue pour projeter plusieurs faisceaux laser, la présente invention ne se limite pas à un tel mode de réalisation. Comme on le voit à la figure 9, le
15 système d'éclairage peut être divisé en deux sources laser ou plus **24a** et **24b**. Chaque source laser peut projeter un ou plusieurs faisceaux laser. Dans une telle disposition, au moins un des faisceaux laser est espacé de l'axe de rotation de la plate-forme (c'est-à-
20 dire qu'il ne le coupe pas). Cela est utile, par exemple lorsque la gemme **12** comme celle de la figure 10A, qui comprend une partie **46** faisant saillie vers le haut, qui est tournée autour de l'axe de rotation **X**.

Ainsi que les figures 10B à 10J le représentent,
25 lorsque la gemme **12** est tournée dans une direction indiquée par la flèche **49**, la partie **46** n'est frappée par un faisceau laser **50** passant à travers l'axe de rotation **X** (ci-après, "*faisceau central*") que pendant certaines parties de la rotation, et seules quelques
30 zones de la partie sont frappées, comme on le voit aux figures 10D et 10H. Ces mêmes zones seront frappées quelle que soit la direction d'où provient le faisceau central **50**. En projetant un autre faisceau laser **52** qui ne passe pas à travers l'axe de rotation **X**, d'autres
35 zones de la partie **46** sont frappées, comme aux figures

10B, 10C et 10D. Par ailleurs, des parties des zones sur lesquelles le faisceau central 50 tombe sont frappées plus directement, ce qui donne des résultats plus précis.

5 Lorsque l'on sélectionne une source laser à faisceaux multiples pour servir de système d'éclairage 24, plusieurs facteurs entrent en ligne de compte. Le premier est la résolution du système d'imagerie 22. Des faisceaux laser trop proches les uns des autres
10 risquent de n'être pas distingués par le système d'imagerie. En outre, même si le système d'imagerie peut les distinguer, des erreurs de traitement peuvent en résulter. Par exemple, le processeur peut corrélérer un reflet capté avec un reflet prédit inexacte et
15 réaliser des calculs sur la base de la corrélation d'un reflet capté avec un faisceau laser incorrect. D'autre part, des faisceaux laser trop éloignés entre eux peuvent manquer certaines caractéristiques de la gemme, autrement dit, la résolution de la forme composite
20 tridimensionnelle de la gemme va être inférieure. De plus, un système d'éclairage proposant des faisceaux laser trop éloignés entre eux peut ne pas réussir à projeter plus d'un faisceau laser qui est incident (tombe) sur une très petite pierre.

25 Il va être entendu que lorsque l'on discute de la distance entre des faisceaux laser, il est fait référence à la distance quand les faisceaux laser sont incidents sur la gemme. Pour les faisceaux laser parallèles, il s'agit de la distance absolue entre eux.
30 Pour les faisceaux laser divergents, la distance entre le système d'éclairage et la plate-forme peut être variée afin d'obtenir différentes distances.

Les hommes de l'art auquel cette invention a trait vont facilement évaluer que de nombreux changements,
35 variantes et modifications peuvent être réalisés sans

s'éloigner du champ de l'invention mutatis mutandis. Par exemple, la première rotation peut être omise si l'enveloppe convexe de la gemme peut être fournie par un autre moyen.

REVENDICATIONS

1. Appareil pour déterminer la forme d'une gemme incluant des concavités à sa surface, la gemme ayant
5 une taille non inférieure à une taille minimale prédéterminée, l'appareil comprenant :

- (a) une plate-forme conçue pour soutenir la gemme ;
- 10 (b) un système de numérisation par balayage conçu pour fournir des informations géométriques concernant l'enveloppe convexe tridimensionnelle de la gemme ;
- (c) un système d'éclairage conçu pour projeter sur ladite gemme un éclairage sous la forme
15 d'au moins deux faisceaux laser le long d'au moins deux chemins optiques distincts ;
- (d) un système d'imagerie conçu pour capter au moins une partie dudit éclairage quand il est réfléchi par la gemme ; et
- 20 (e) un processeur conçu pour déterminer ladite forme sur base de l'éclairage capté et desdites informations géométriques ;

l'appareil étant conçu pour tourner ladite gemme par rapport au système d'éclairage autour d'un axe de
25 rotation ; au moins un desdits chemins étant espacé dudit axe de rotation.

2. Appareil selon la revendication 1, dans lequel la gemme a une taille non inférieure à une taille minimale prédéterminée, et ledit système
30 d'éclairage a un axe optique et il est conçu pour produire lesdits faisceaux laser de telle manière qu'ils passent à travers un plan, qui inclut ledit axe de rotation et qui est orienté perpendiculairement audit axe optique, à des emplacements espacés les uns
35 des autres à une distance inférieure à ladite taille

minimale.

3. Appareil selon la revendication 1, dans lequel la gemme a une taille non supérieure à une taille maximale prédéterminée, et ladite pluralité de
5 faisceaux laser comprend un premier faisceau laser extrême et un second faisceau laser extrême, tous les autres faisceaux laser étant projetés entre eux, dans lequel lesdits faisceaux laser extrêmes sont espacés l'un de l'autre au moins aux abords de la plate-forme à
10 une distance supérieure à ladite taille maximale de la gemme.

4. Appareil selon la revendication 1, dans lequel ledit processeur est conçu pour calculer, sur la base desdites informations géométriques, un reflet
15 prédit de chaque faisceau laser, afin de comparer les reflets captés avec lesdits reflets prédits et de relier chaque reflet capté à son reflet prédit correspondant, pour déterminer ladite forme de la gemme sur base de la comparaison et desdites informations
20 géométriques.

5. Appareil selon la revendication 1, dans lequel les faisceaux laser sont linéaires de sorte que la projection de chacun d'eux sur la gemme à la forme
d'un point.

25 6. Appareil selon la revendication 1, dans lequel les faisceaux laser sont plans de sorte que la projection de chacun d'eux sur la gemme à la forme d'une ligne.

7. Appareil selon la revendication 1, dans
30 lequel la plate-forme est conçue pour tourner, fournissant ainsi la rotation.

8. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le système d'éclairage et le système d'imagerie sont conçus pour tourner, fournissant ainsi la
35 rotation.

9. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le système d'éclairage comprend une source laser à faisceaux multiples.

5 10. Appareil selon la revendication 6, dans lequel chacun desdits faisceaux laser provenant de la source laser à faisceaux multiples est disposé selon un angle dont la valeur se situe dans le plage de $0,05^\circ$ à 10° par rapport à des faisceaux laser adjacents.

10 11. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le système d'éclairage comprend au moins deux sources laser, chacune d'elle projetant au moins un faisceau laser.

15 12. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le système d'imagerie comprend une caméra ayant un CCD.

20 13. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le système de numérisation par balayage comprend au moins ledit système d'imagerie et une source de lumière faisant face à ladite plate-forme et disposée sensiblement à l'opposé du système d'imagerie.

14. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le processeur est conçu pour calculer l'enveloppe convexe.

25 15. Appareil selon la revendication 1, dans lequel ladite enveloppe convexe est un composite de silhouettes de la gemme fournies par le système de numérisation par balayage.

30 16. Appareil pour déterminer la forme d'une gemme ayant une taille non supérieure à une taille maximale prédéterminée, l'appareil comprenant :

- (a) une plate-forme conçue pour soutenir la gemme ;
 - (b) un système de numérisation par balayage conçu pour fournir des informations géométriques
- 35 concernant l'enveloppe convexe

tridimensionnelle de la gemme ;

- (c) au moins une source laser étant conçue pour projeter une pluralité de faisceaux laser, ladite pluralité de faisceaux laser comprenant un premier faisceau laser extrême et un second faisceau laser extrême, tous les autres faisceaux laser étant projetés entre eux ;
- (d) un système d'imagerie conçu pour capter au moins une partie dudit éclairage quand il est réfléchi par la gemme ; et
- (e) un processeur conçu pour déterminer ladite forme sur base de l'éclairage capté et desdites informations géométriques ;
- 15 dans lequel lesdits faisceaux laser extrêmes sont espacés l'un de l'autre au moins aux abords de la plate-forme à une distance supérieure à ladite taille maximale de la gemme.

17. Appareil selon la revendication 16, dans lequel la gemme a une taille non inférieure à une taille minimale prédéterminée, et ledit système d'éclairage a un axe optique et est conçu pour produire lesdits faisceaux laser de telle façon qu'ils passent à travers un plan, qui inclut ledit axe de rotation et qui est orienté perpendiculairement audit axe optique, à des emplacements espacés les uns des autres à une distance inférieure à ladite taille minimale.

18. Appareil selon la revendication 16, dans lequel ledit processeur est conçu pour calculer, sur la base desdites informations géométriques, un reflet prédit de chaque faisceau laser, afin de comparer les reflets captés avec lesdits reflets prédits et de relier chaque reflet capté à son reflet prédit correspondant, pour déterminer ladite forme de la gemme sur base de la comparaison et desdites informations

géométriques.

19. Appareil selon la revendication 16, dans lequel les faisceaux laser sont linéaires de sorte que la projection de chacun d'eux sur la gemme à la forme
5 d'un point.

20. Appareil selon la revendication 16, dans lequel les faisceaux laser sont plans de sorte que la projection de chacun d'eux sur la gemme à la forme d'une ligne.

10 21. Appareil selon la revendication 16, dans lequel chacun desdits faisceaux laser provenant de la source laser est disposé selon un angle de $0,38^\circ$ par rapport aux faisceaux laser adjacents.

15 22. Appareil selon la revendication 16, dans lequel la plate-forme est conçue pour tourner, fournissant ainsi la rotation.

20 23. Appareil selon la revendication 16, dans lequel la au moins une source laser et le système d'imagerie sont conçus pour tourner, fournissant ainsi la rotation.

24. Appareil selon la revendication 16, dans lequel le système d'imagerie comprend une caméra ayant un CCD.

25 25. Appareil selon la revendication 16, dans lequel le système de numérisation par balayage comprend au moins ledit système d'imagerie et une source de lumière faisant face à ladite plate-forme et disposée sensiblement à l'opposé du système d'imagerie.

30 26. Appareil selon la revendication 16, dans lequel le processeur est conçu pour calculer l'enveloppe convexe.

35 27. Appareil selon la revendication 16, dans lequel ladite enveloppe convexe est un composite des silhouettes de la gemme fournies par le système de numérisation par balayage.

28. Appareil pour déterminer la forme d'une gemme, l'appareil comprenant :

- (a) une plate-forme conçue pour soutenir la gemme ;
- 5 (b) un système de numérisation par balayage conçu pour fournir des informations géométriques concernant l'enveloppe convexe tridimensionnelle de la gemme ;
- 10 (c) un système d'éclairage comprenant au moins une source laser, ledit système d'éclairage étant conçu pour projeter sur ladite gemme un éclairage sous la forme d'au moins deux faisceaux laser le long d'au moins deux chemins distincts ;
- 15 (d) un système d'imagerie conçu pour capter au moins une partie dudit éclairage quand il est réfléchi par la gemme ; et
- 20 (e) un processeur conçu pour calculer, sur la base desdites informations géométriques, un reflet prédit de chaque faisceau laser, afin de comparer les reflets captés avec lesdits reflets prédits et de relier chaque reflet capté à son reflet prédit correspondant, pour déterminer ladite forme de la gemme sur base
- 25 de la comparaison et desdites informations géométriques.

29. Appareil selon la revendication 28, dans lequel la gemme a une taille non inférieure à une taille minimale prédéterminée, et ledit système

30 d'éclairage a un axe optique et est conçu pour produire lesdits faisceaux laser de telle façon qu'ils passent à travers un plan, qui inclut ledit axe de rotation et qui est orienté perpendiculairement audit axe optique, à des emplacements espacés les uns des autres à une

35 distance inférieure à ladite taille minimale.

30. Appareil selon la revendication 28, dans lequel la mise en relation est accomplie en déterminant la proximité de chacun des reflets captés par rapport à un reflet prédit.

5 31. Appareil selon la revendication 28, dans lequel la mise en relation est accomplie en déterminant de quel côté de chacun des reflets prédits chaque reflet capté tombe.

10 32. Appareil selon la revendication 28, dans lequel chaque faisceau laser à une longueur d'onde différente, la mise en relation étant réalisée en déterminant le faisceau laser qui correspond à chacun des reflets captés sur la base de sa longueur d'onde.

15 33. Appareil selon la revendication 28, dans lequel chaque faisceau laser est projeté à un moment différent, la mise en relation étant réalisée en déterminant le faisceau laser qui correspond au moment auquel chacun des reflets captés est capté.

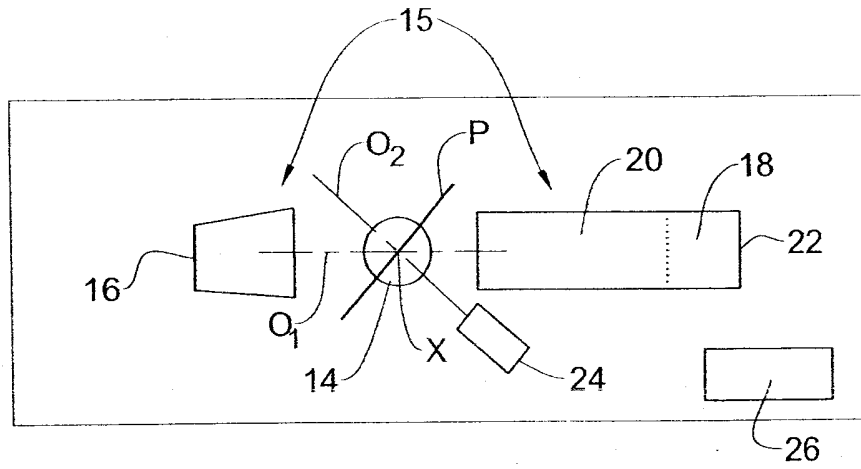


FIG. 1A

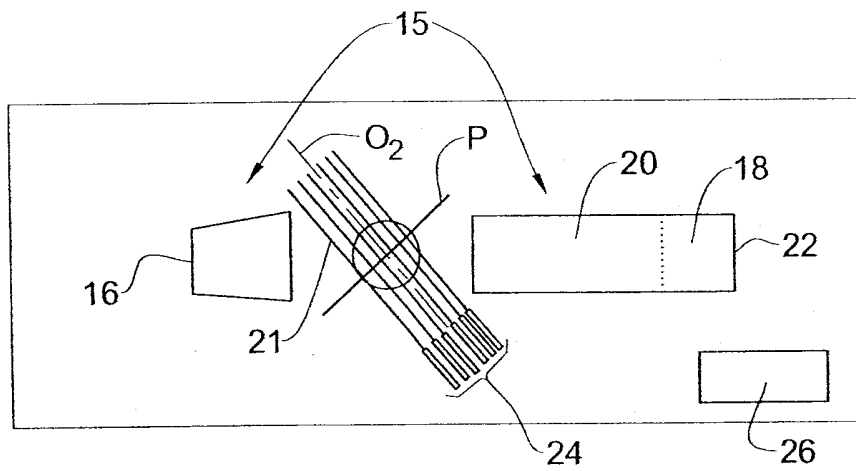


FIG. 1B

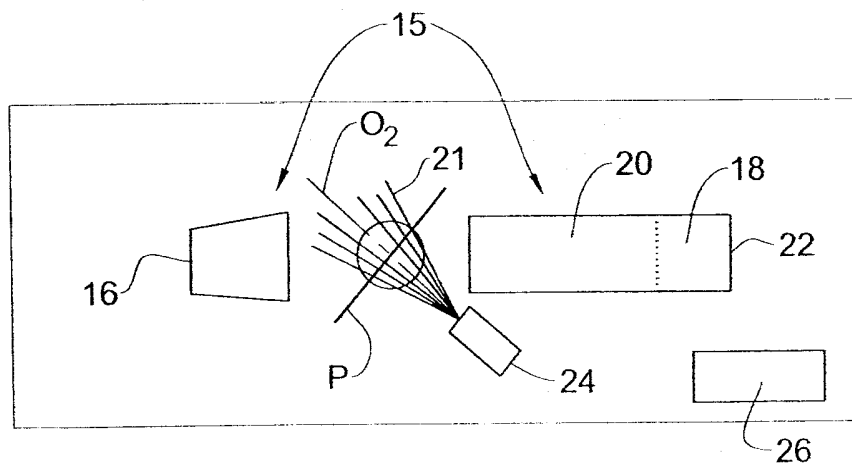


FIG. 1C

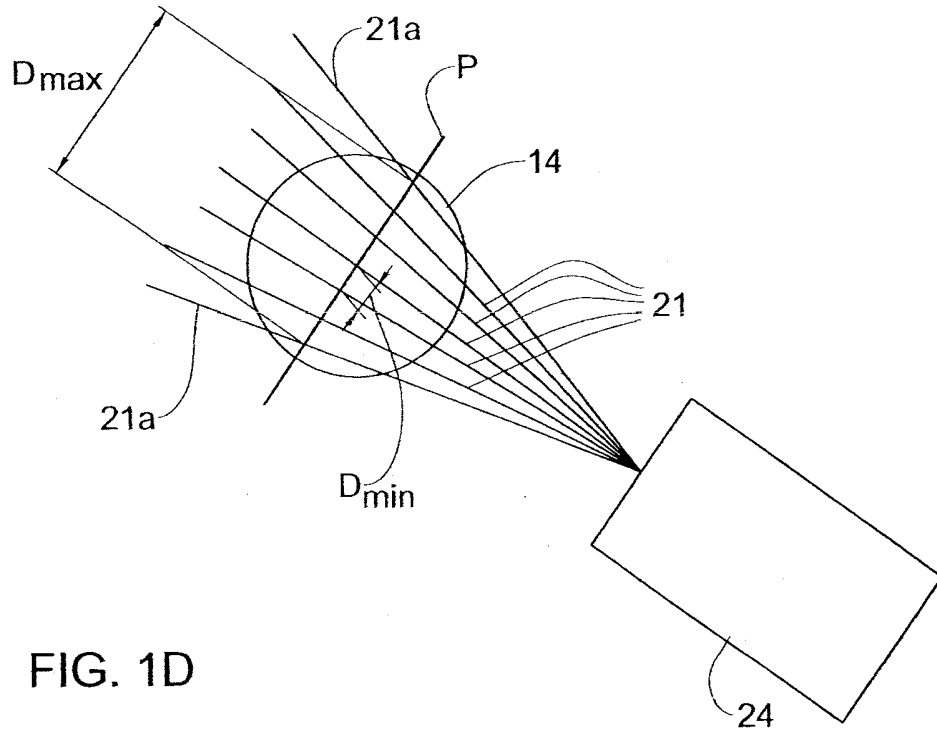


FIG. 1D

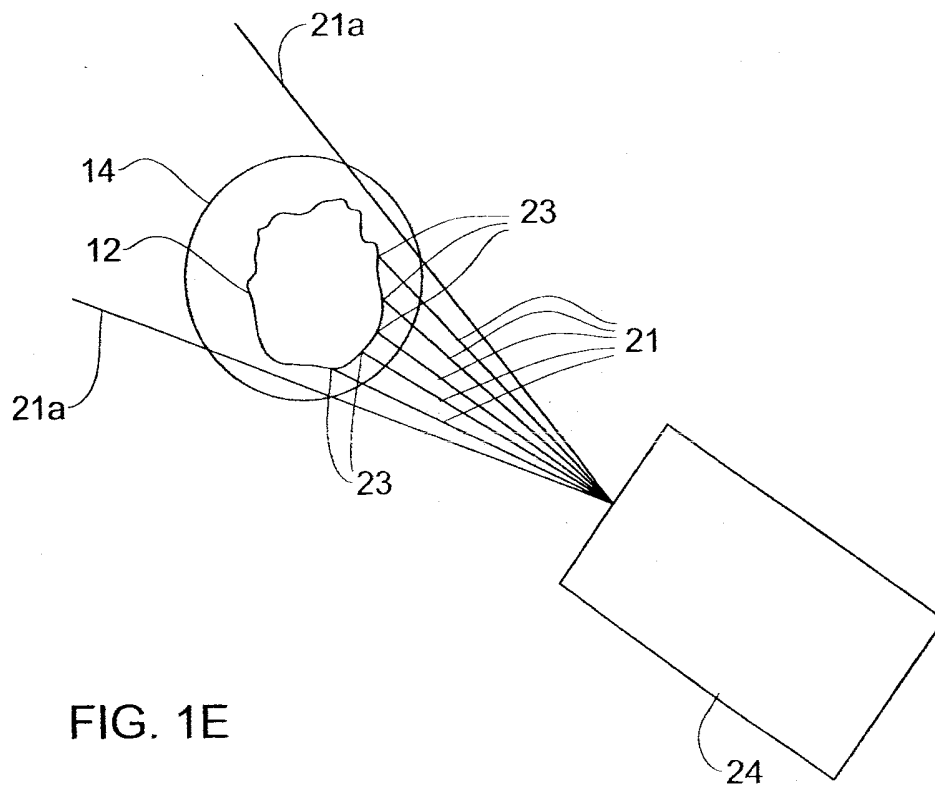


FIG. 1E

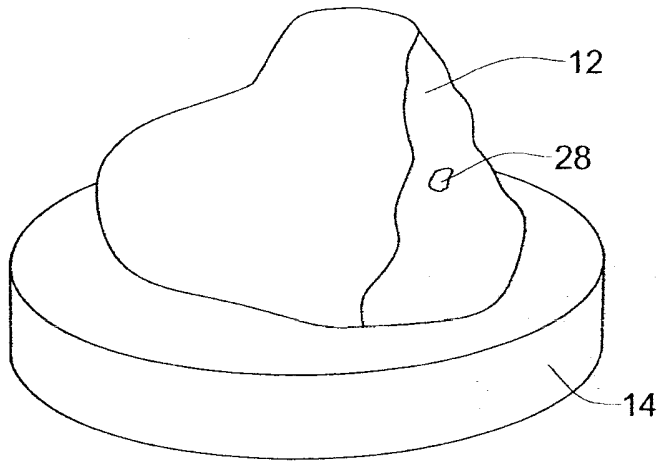


FIG. 2A

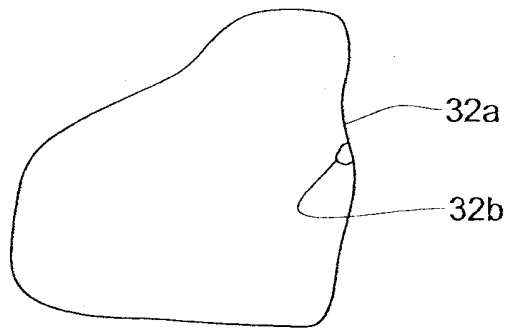


FIG. 2B

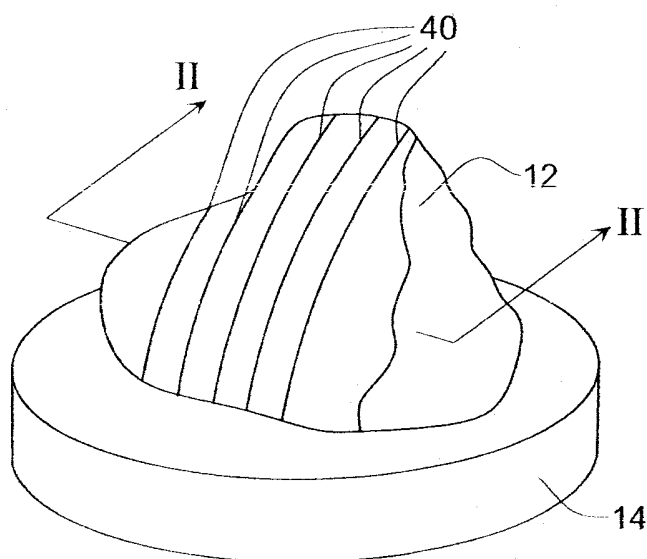


FIG. 3

31.

4/10

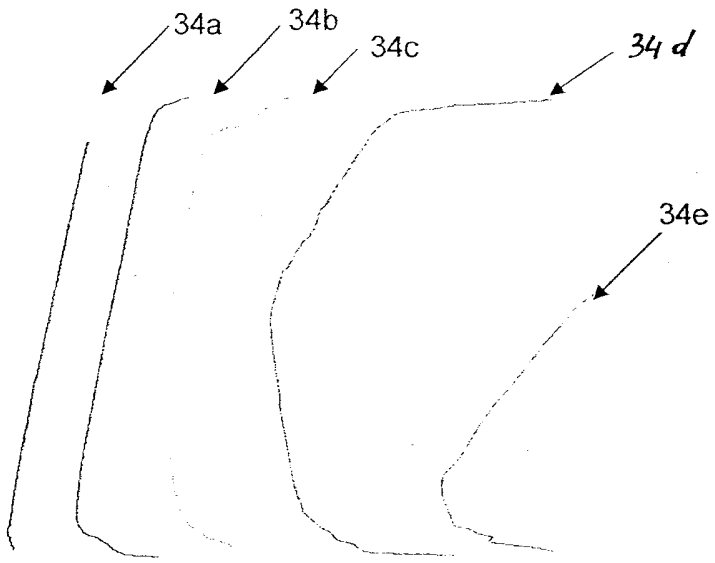


FIG. 4A

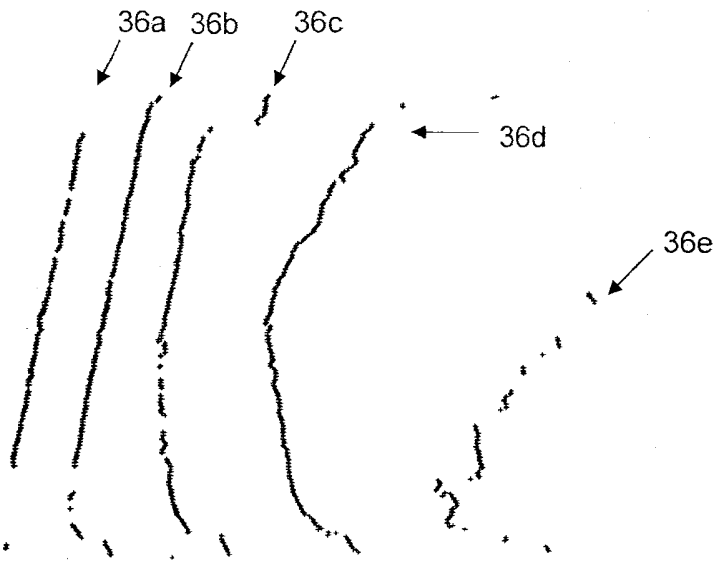


FIG. 4B

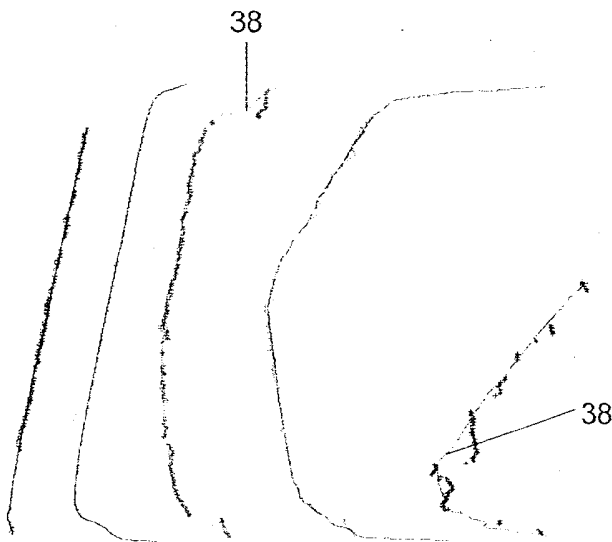


FIG. 4C

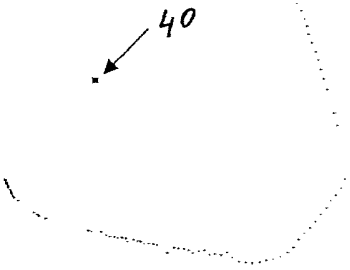


FIG. 5A

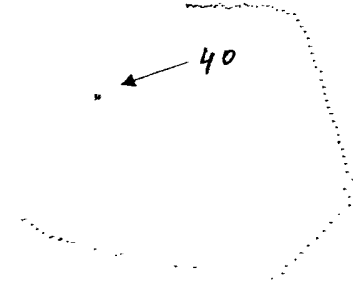


FIG. 5B

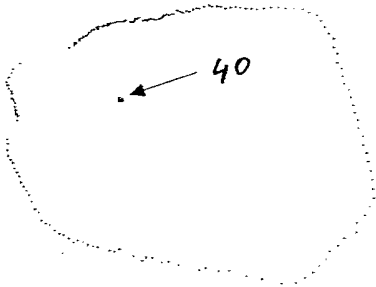


FIG. 5C

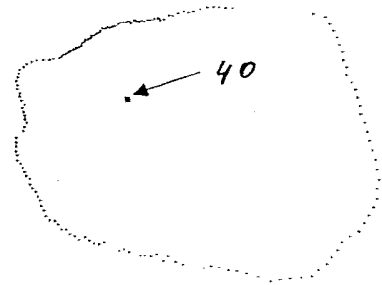


FIG. 5D

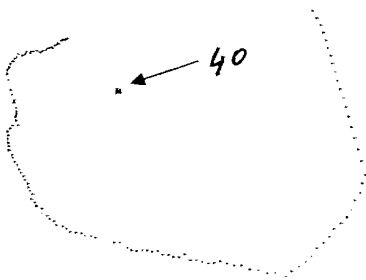


FIG. 5E

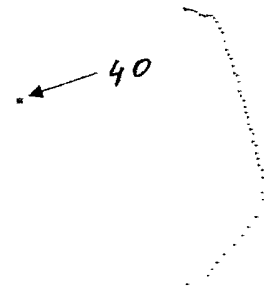


FIG. 5F

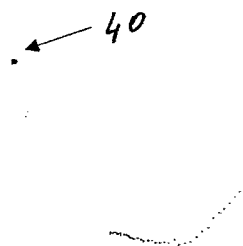


FIG. 5G

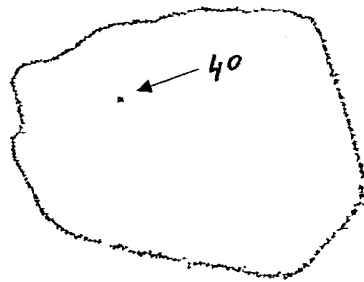


FIG. 6

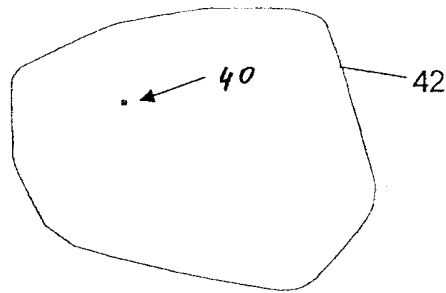


FIG. 7

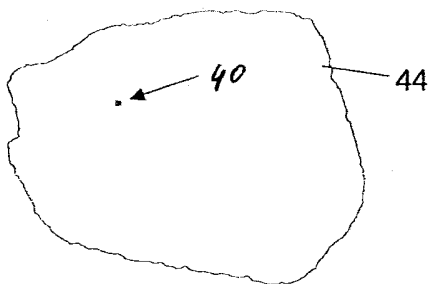


FIG. 8A

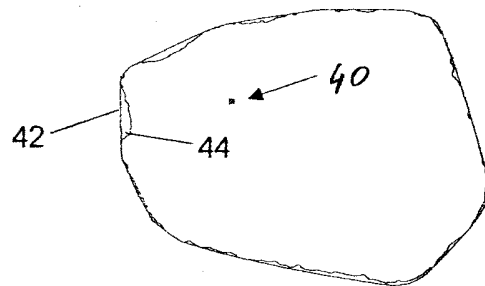


FIG. 8B

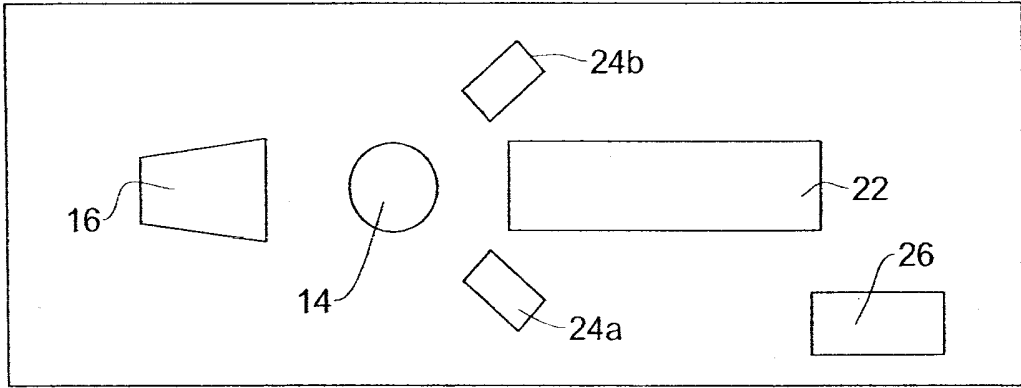


FIG. 9

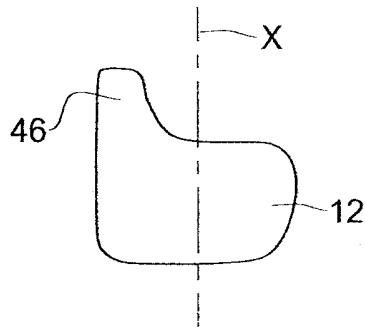


FIG. 10A

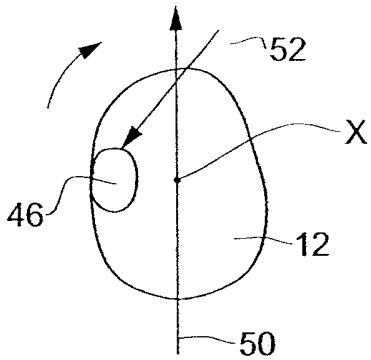


FIG. 10B

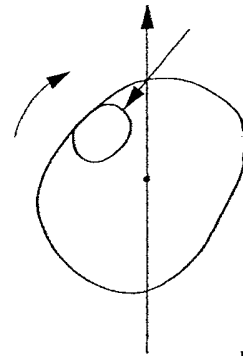


FIG. 10C

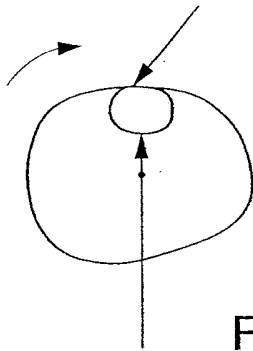


FIG. 10D

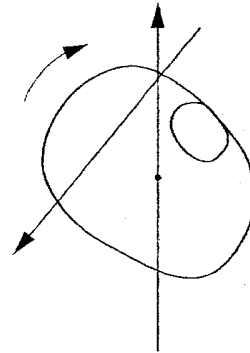


FIG. 10E

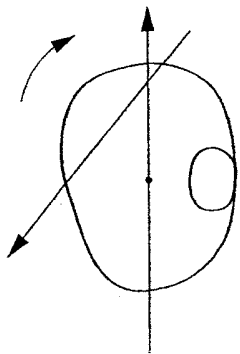


FIG. 10F

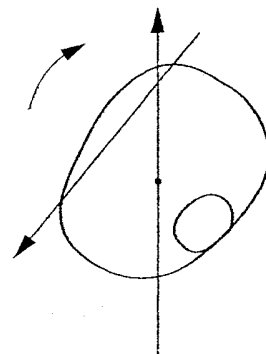


FIG. 10G

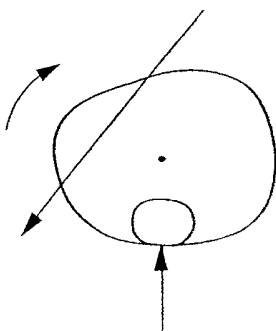


FIG. 10H

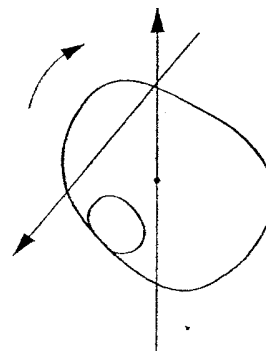


FIG. 10J

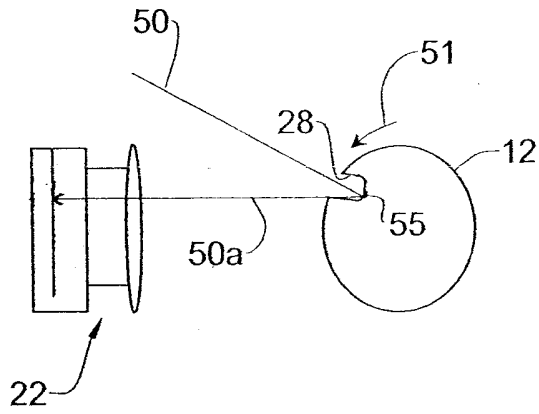


FIG. 11A

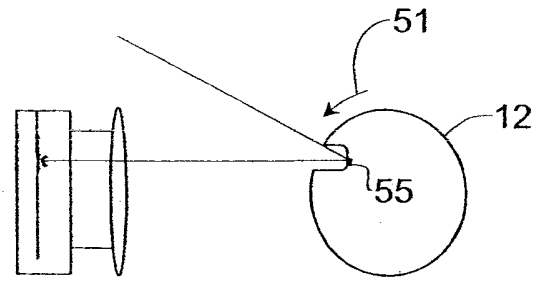


FIG. 11B

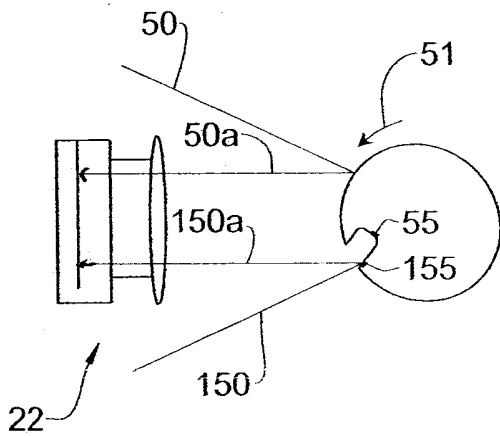


FIG. 11C

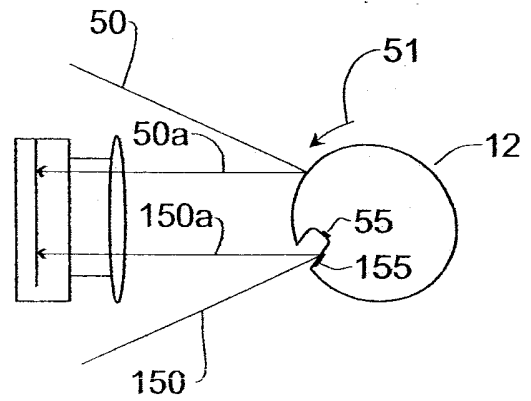


FIG. 11D

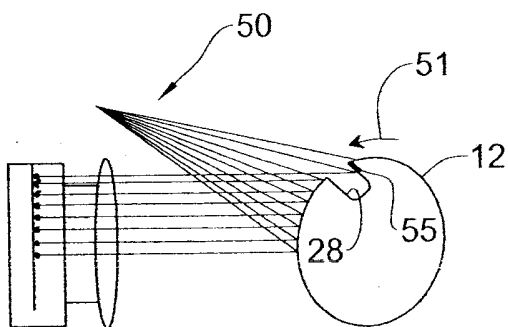


FIG. 11E

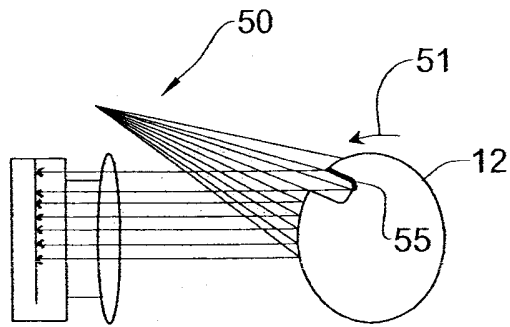


FIG. 11F

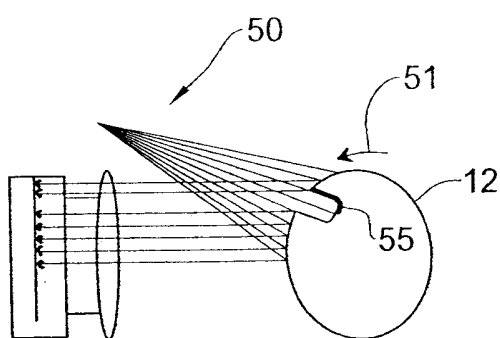


FIG. 11G

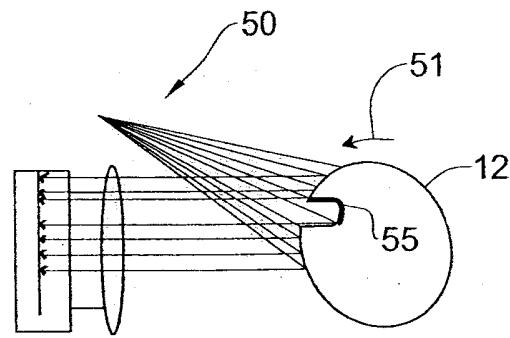


FIG. 11H

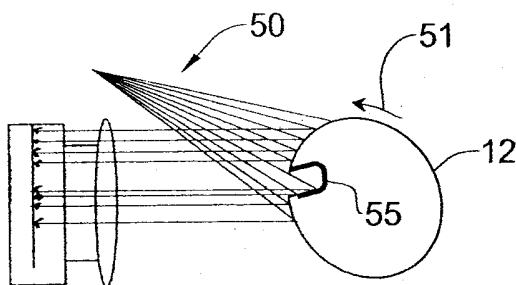


FIG. 11J

APPAREIL POUR DETERMINER LA FORME D'UNE GEMME

ABREGE DESCRIPTIF

Il est proposé un appareil pour déterminer la forme d'une gemme incluant des irrégularités à sa surface. L'appareil comprend une plate-forme conçue pour soutenir la gemme, un système de numérisation par balayage conçu pour fournir des informations géométriques concernant l'enveloppe convexe tridimensionnelle de la gemme, un système d'éclairage conçu pour projeter sur la gemme une pluralité de faisceaux laser, un système d'imagerie conçu pour capturer des reflets d'au moins une partie desdits faisceaux laser se reflétant à la surface la gemme, et un processeur. Le processeur est conçu pour calculer, sur la base desdites informations géométriques, un reflet prédit de chaque faisceau laser, afin de comparer les reflets captés avec lesdits reflets prédits et de relier chaque reflet capté à son reflet prédit correspondant, pour déterminer ladite forme de la gemme à partir de la comparaison et desdites informations géométriques.