

Le laser entre dans la pratique industrielle [fin]

Autor(en): **Courrier, M.C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **41 (1968)**

Heft 8

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-561613>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le laser entre dans la pratique industrielle

Par M. G. Courrier
Ingénieur civil de l'Aéronautique

2. La métrologie

Le laser à gaz monomode et stabilisé en fréquence, par suite de sa très grande cohérence spatiale et temporelle, constitue une source idéale pour la production d'un système de franges sur des distances de quelques mètres. Il est possible de réaliser sur ces distances, grâce au laser, des règles optiques graduées en quart de longueur d'onde, et donc en fractions de micron.

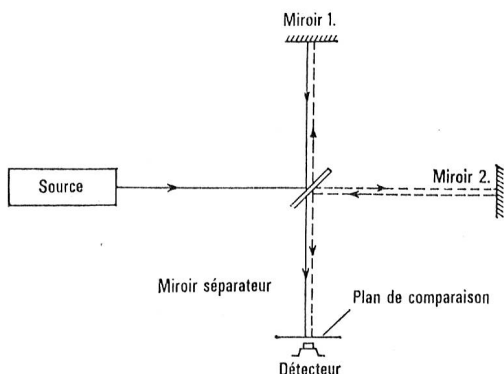
Le repérage de position est réalisé par comptage de franges. Nous utilisons, par exemple, un interféromètre de Michelson (figure 10) dont un des miroirs est mobile: et c'est le défilement d'un système de franges sur un détecteur fixe qui, par comptage, donne la mesure précise du déplacement. Le miroir mobile peut en effet être rendu solidaire d'un chariot mobile quelconque.

En utilisant un système de comptage et de décomptage, nous pouvons réaliser un système de commande numérique de machines-outils. Les déplacements précis de la machine peuvent alors être déterminés avec une précision de l'ordre du micron sur des distances supérieures à 5 mètres.

Les mesures par déplacement de franges sont utilisées dans d'autres applications; par exemple, une inhomogénéité d'indice se traduisant par une différence de marche, nous pouvons donner une image précise de l'homogénéité d'une substance. De même, chaque fois qu'il est possible de relier directement une grandeur physique à une variation d'indice; la mesure de cette variation par méthode interférométrique permet de réaliser une mesure avec une grande précision: la mesure de la densité électronique des plasmas peut être reliée directement à la mesure de l'indice et peut donc être réalisée avec une grande précision par mesure interférométrique avec une source laser.

Le faisceau laser peut également être utilisé comme référence d'alignement. En plaçant sur le faisceau du laser un système de quatre cellules agissant en différentiel, la précision d'alignement est inférieure au dixième de millimètre à cent mètres. Si le faisceau est renvoyé par une équerre optique, il est également possible de déterminer des plans avec une grande précision.

Dans les applications à la métrologie, nous pouvons également citer la mesure des vitesses de rotation avec le gyromètre à laser, dont un schéma est donné à la figure 11.



229 Fig. 10: Interféromètre de Michelson

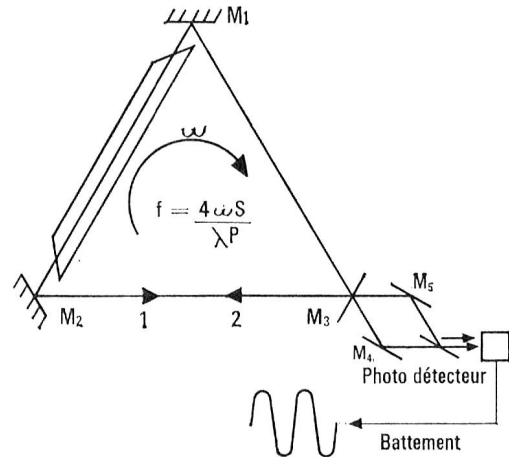


Fig. 11: Schéma d'un gyromètre à laser

Le gyromètre à laser est constitué par un tube à gaz T scellé par des glaces transparentes à incidence de Brewster; trois miroirs M_1, M_2, M_3 , forment une cavité résonnante fermée. Il se développe deux ondes progressives, l'une dans le sens des aiguilles d'une montre, l'autre dans le sens inverse. Les miroirs M_1 et M_2 sont à réflectance maximale et le miroir M_3 partiellement transparent de façon à laisser passer une partie des ondes progressives. Par utilisation de deux miroirs réfléchissants M_4 et M_5 et d'une lame semi-réfléchissante L, il est possible de faire battre les deux ondes progressives sur un détecteur D. Lorsque nous faisons tourner l'ensemble du dispositif, nous enregistrons sur le détecteur un battement dont la fréquence f (Hz) est donnée par la formule:

$$f = \frac{4 \omega S}{\lambda p}$$

où ω est la vitesse de rotation en radians par seconde, S la surface délimitée par le contour du faisceau de périmètre p, λ la longueur d'onde du rayonnement.

Tout se passe comme si, par suite du mouvement de rotation de l'ensemble, le trajet effectué par l'onde progressive dans le sens du mouvement était supérieur à celui effectué par l'onde se propageant en sens inverse, la longueur d'onde de la première onde serait alors supérieure. Les vitesses de rotation les plus faibles mesurées par les gyromètres à laser sont de l'ordre du dixième de degré/heure.

3. La mesure des vitesses

Si nous éclairons avec une source laser de fréquence f un objet en mouvement, cet objet va diffuser une partie de la lumière captée. Si, maintenant, nous faisons battre le rayonnement réémis avec une fraction du rayonnement sur un détecteur quadratique lié à la source, nous enregistrons une variation de fréquence Δf proportionnelle à la composante radiale de la vitesse $v_r = v \cos \theta$ (figure 12).

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v \cos \theta}{c}$$

v est compté positivement si l'objet se rapproche.

Ce principe a été utilisé pour construire des appareils de mesure de vitesse de déplacement de tôles ou de fluides.

4. La télémétrie

La mesure des grandes distances peut être réalisée avec précision par utilisation des propriétés de la lumière cohérente. Grâce au laser, il est possible de mesurer la distance d'un objet de faibles dimensions angulaires: c'est surtout ce pouvoir de discrimination élevé, obtenu avec des instruments de faible encombrement, qui est la caractéristique principale des équipements de télémétrie laser. Les émetteurs utilisés ont un fonctionnement soit continu, soit en impulsions. C'est ce dernier type d'appareil qui est le plus utilisé pour la mesure des distances supérieures au kilomètre. La précision n'est limitée que par le caractère aléatoire des fluctuations d'indice de l'atmosphère et l'imprécision existant sur la mesure de la vitesse de la lumière.

Le principe de la télémétrie laser est le suivant: une impulsion de rayonnement laser est dirigée sur l'objet dont nous voulons mesurer la distance. La détermination de cette dernière est effectuée par la mesure précise de l'intervalle de temps qui sépare les instants d'émission de l'impulsion et de réception de l'écho obtenu après diffusion ou réflexion du rayonnement émis sur la cible. Les éléments essentiels d'un télémètre laser sont: l'émetteur laser auquel est associé un système optique d'émission, un récepteur photo-électrique de l'écho, un chronomètre électronique et un système de pointage.

La figure 13 représente un schéma fonctionnel d'un télémètre laser. Le télémètre possède un émetteur laser déclenché par prisme. Avant de commander l'émission d'une impulsion, l'émetteur est mis sous tension, les condensateurs sont chargés, le moteur d'entraînement du prisme tourne et des tops de synchronisation sont produits par un alternateur lié au moteur d'entraînement du prisme.

Lorsque nous déclenchons l'opération de télémétrie, nous ouvrons une porte. Le premier top de synchronisation se présentant passe, déclenche le flash et referme la porte: une impulsion laser est émise. Une très faible partie de cette impulsion est prélevée pour impressionner le photomultiplicateur de réception et déclencher le compteur électronique. Après rétrodiffusion du signal sur la cible, un écho revient. Il est capté par l'optique de réception. Le champ angulaire de

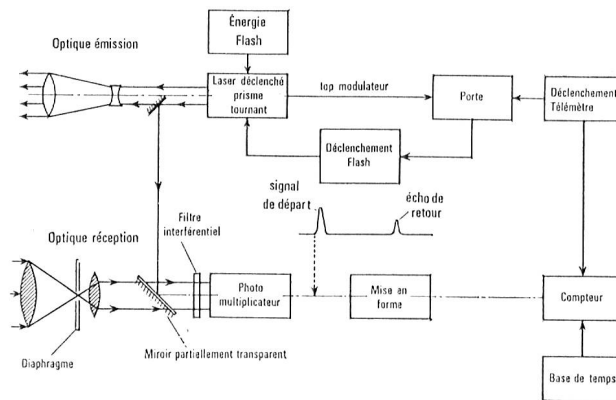


Fig. 13: Schéma bloc d'un télémètre laser

cette optique est d'ailleurs limité par un diaphragme. Un filtre interférentiel étroit, centré sur la raie d'émission du laser, élimine les rayonnements parasites de longueur d'onde différente. Le signal reçu par le photomultiplicateur de réception vient arrêter le compteur électronique. Celui-ci affiche alors un chiffre proportionnel au temps de propagation aller et retour du signal lumineux, et donc, en connaissant le vitesse de la lumière, à la distance de l'objectif. Si, par exemple, la fréquence horloge du compteur est 150 MHz, la distance est directement affichée en mètres.

Nous pouvons rappeler, en ce qui concerne la télémétrie laser, la mise en place de trois stations à St-Michel-de-Provence, Hammaguir (Sahara) et Stephanion (Grèce) destinées à déterminer, simultanément, la distance d'un satellite français «Diadème» à des fins de géodésie par triangulation très précise. La distance d'un satellite est couramment mesurée à 2 ou 3 mètres près, et cela jusqu'à 3000 kilomètres d'éloignement. Des télémètres laser compacts et fiables ont été également réalisés pour être montés sur des véhicules terrestres ou aériens en vue de déterminer avec précision les distances ou les altitudes. Grâce à des progrès importants dans la technique des flashes et du refroidissement des têtes laser, la cadence des impulsions a pu être augmentée de façon notable. On peut penser atteindre, dans un avenir proche, des cadences de répétition supérieures à 50 par seconde. Nous aurons donc, grâce au laser, les moyens de déterminer avec précision la trajectoire des avions ou des engins, et même de concevoir des systèmes de poursuite et de guidage.

5. Usinage - Soudage

L'énergie ou la puissance émise par un laser peut être concentrée grâce à un système optique dans un volume très petit. L'angle de divergence θ du faisceau émis par le laser est donné par:

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

où D est le diamètre du faisceau et λ la longueur d'onde d'émission. Le diamètre de la sphère dans laquelle peut être concentrée l'énergie, grâce à un système optique de concentration de distance focale F, est donné par:

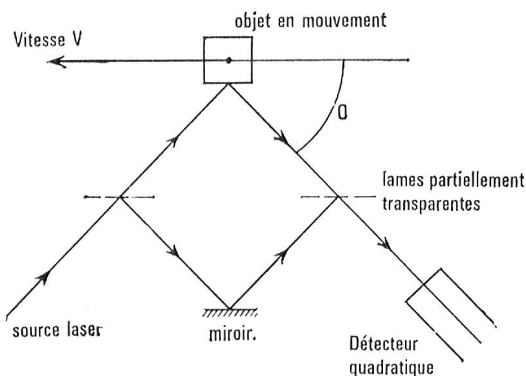


Fig. 12: Schéma de principe d'un système de mesure des vitesses

$$d = 1.22 \lambda \frac{F}{D}$$

Le rapport F/D peut être voisin de l'ouverture numérique du système optique. Si celui-ci est égal à 1, nous voyons que c'est de l'ordre de la longueur d'onde et donc du micron pour les lasers courants. Lorsque l'énergie laser est concentrée sur une surface métallique, l'élévation de température dépend des propriétés du métal, en particulier de la capacité calorifique et de sa conductivité: elle peut être telle que la fusion ou la vaporisation d'une certaine quantité de métal peut se produire. Grâce au laser en impulsion, nous pouvons effectuer le soudage par point de tôles métalliques ou de fils. Une grande variété de matériaux d'interconnexion et de composants ont pu être soudés de cette façon: nous pouvons citer, en particulier, le Kovar, l'aluminium, le tungstène, le titane.

Nous pouvons distinguer:

a) L'interconnexion entre fils dans différentes configurations: bout à bout, en croix, côte à côte. Nous pouvons citer comme exemple d'interconnexion entre fils ou entre fils plaques métalliques, le soudage des thermocouples.

b) Soudage sur circuits imprimés

Il apparaît que, grâce au laser, nous pouvons souder sur circuits imprimés sans endommager le substrat. Les couches conductrices de circuits utilisés peuvent être en cuivre, en nickel, en Kovar, ou sous forme de couches multiples. Pour le soudage sur circuit imprimé, la procédure habituelle consiste à préformer les fils de façon à les mettre en contact sur le circuit avec les éléments conducteurs. Après avoir assuré une fixation avec un ruban adhésif, le soudage est effectué successivement sur chacun des éléments. Le substrat préférentiel pour le soudage au laser est du type époxy-fibre de verre. En ce qui concerne le matériau conducteur sur la plaquette, c'est le nickel qui permet la latitude la plus grande de réglage en conservant un soudage acceptable. Cependant, de bonnes liaisons peuvent également être obtenues sur du cuivre.

6. La physique et la chimie

L'ionisation des gaz

Cette ionisation est obtenue par focalisation de lasers déclenchés à rubis ou à verre dopé au néodyme de très grande puissance crête. Le résultat de la concentration de cette énergie électromagnétique élevée dans un volume très petit a pour résultat la production de champs électriques de plusieurs millions de volts par centimètre. Il se forme des plasmas denses et chauds.

La production de ces champs intenses a été utilisée pour la mise en évidence des propriétés optiques, non linéaires, de certains matériaux et pour la génération d'harmoniques et l'amplification paramétrique des ondes lumineuses.

D'autre part, la possibilité d'ioniser à distance des gaz a permis la conception de dispositifs originaux de déclenchement des arcs à très haute tension et de nouveaux types d'éclateurs parfaitement synchronisés.

La mesure des courants élevés

Des appareils de mesure de courant pour lignes hautes tensions de 500 kV ont été réalisés à partir de sources laser. Le

principe de l'appareil consiste à mesurer la rotation de polarisation du faisceau émis par un laser dans un barreau de verre flint. Le faisceau laser est produit et analysé en un lieu au potentiel de la terre et la mesure peut être effectuée sans utiliser aucun fil de liaison, simplement en faisant traverser un barreau de verre placé au voisinage du fil haute tension.

La spectrométrie Raman

Les lasers, en particulier les lasers à gaz, sont utilisés comme sources pour effectuer par spectrométrie Raman l'analyse qualitative et quantitative des gaz, des liquides ou des poudres. Grâce à la luminance de la source, le temps d'analyse est considérablement réduit. La spectrométrie Raman est comparable à la spectrométrie infrarouge, mais de plus, par étude de la polarisation de la lumière diffusée, elle peut donner des renseignements complémentaires dans la symétrie des molécules complexes.

L'holographie

L'holographie est une technique de production d'images tridimensionnelles sans interposition d'objectif. Elle consiste à enregistrer sur une plaque photographique et ensuite à reproduire les fronts d'ondes en amplitude et en phase provenant d'un objet. Ce procédé est radicalement différent des procédés classiques de photographie, qui enregistrent seulement l'intensité de la lumière provenant de l'objet.

La figure 14 donne le principe de prise de vue d'une hologramme. Une partie du faisceau laser éclaire l'objet à photographier, l'autre partie est renvoyée par un miroir sur la plaque photographique. Celle-ci est de plus impressionnée par les ondes diffusées par l'objet. L'émulsion photographique n'est sensible qu'à l'amplitude de lumière reçue: mais, comme l'onde de référence et l'onde diffusée interfèrent, nous allons enregistrer sur la plaque un réseau d'interférences caractéristiques de la phase des ondes diffusées. En effet, aux endroits où les deux ondes sont en phase, leurs amplitudes s'additionnent et la plaque est fortement éclairée; là où elles sont en opposition, nous avons des points mal éclairés, voire obscurs. Entre ces deux extrêmes, tous les déphasages intermédiaires se traduisent par différentes teintes de gris.

Afin de reconstituer l'image de l'objet et de pouvoir lire l'hologramme, il est nécessaire d'utiliser un montage, schématisé par la figure 15. Après développement de la plaque, si nous éclairons par transparence l'hologramme à l'aide du laser utilisé pour effectuer la prise de vue, nous voyons apparaître en relief une image virtuelle de l'objet et une image réelle. Ces deux images sont symétriques par rapport à la plaque. L'observateur a une impression identique à celle qu'il aurait

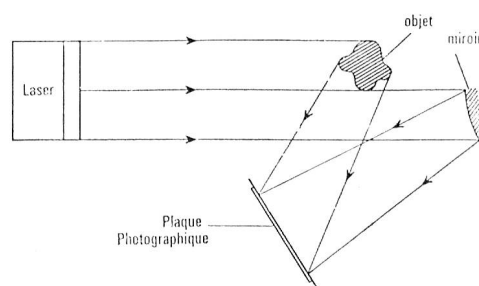


Fig. 14: Enregistrement d'un hologramme

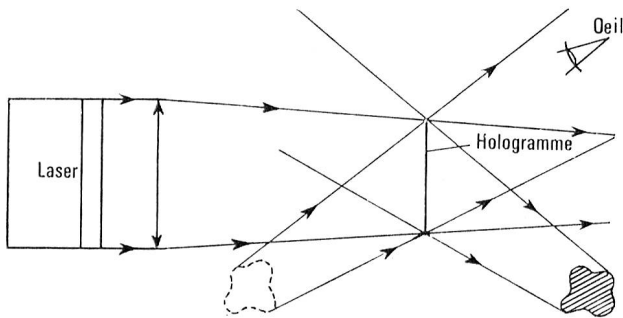


Fig. 15: Restitution d'un hologramme

si l'objet original occupait l'emplacement de l'image virtuelle. En ce qui concerne l'image réelle, elle peut être mise en évidence à l'aide d'un écran ou d'une pellicule photographique, sans l'emploi de lentille.

Nous voyons sur la figure 15 que le faisceau issu du laser se divise en trois :

- Un faisceau traversant l'hologramme sans déviation: ce faisceau ne donne pas d'image;
- Un faisceau divergent donnant une image virtuelle;
- Un faisceau convergent donnant une image réelle.

La déviation provient du système de franges d'interférences enregistrées sur l'hologramme: ces franges se comportent en effet comme un réseau. Les faisceaux déviés correspondent à des ondes diffractées du premier ordre.

Sur le principe d'enregistrement de l'hologramme, nous pouvons faire la remarque suivante: si nous divisons arbitrairement la plaque en plusieurs zones, chacune des zones ainsi délimitées reçoit des ondes provenant de l'objet tout entier. Chacune contient des informations sur l'ensemble de l'objet. Donc, si nous brisons un hologramme, chaque fragment est capable de restituer l'ensemble de l'objet; mais la résolution de l'image est moins bonne: celle-ci est en effet proportionnelle à la dimension de l'hologramme.

Si nous copions un hologramme par contact, les zones opaques deviennent transparentes sur la reproduction et vice versa. Mais l'image reconstituée en utilisant cette copie est identique à celle obtenue avec l'original.

Nous pouvons, d'autre part, enregistrer plusieurs hologrammes sur une même plaque photographique par des expositions successives et donc reconstituer chaque image sans qu'elle soit affectée par la présence des autres. Pour cela, il est nécessaire soit d'utiliser des longueurs d'onde différentes, soit de modifier l'orientation de la plaque entre les expositions successives. Par ces procédés, il est possible d'enregistrer au moins dix images par centimètre carré d'émulsion.

En regardant un hologramme, l'observateur peut choisir un point de vue quelconque à partir du plan d'enregistrement. Donc, l'hologramme contient beaucoup plus d'informations que la vue stéréoscopique. Celle-ci, en effet, est constituée par deux images seulement de l'objet, que le cerveau humain doit confondre et interpréter, tandis que l'hologramme reconstitue non seulement une image de l'objet, mais également du système d'onde qui en émane. Cette image est plus que tridimensionnelle, elle a toutes les propriétés optiques de l'objet lui-même, y compris les changements de perspective lorsque l'observateur change de position et la parallaxe entre les objets proches et éloignés de l'image.

Les propriétés de l'holographie ont été utilisées pour accroître la profondeur de champ de la microscopie à haute résolution. Par exemple, si nous désirons photographier un objet de 50 microns et garder une précision de $\pm 2\%$ sur l'évaluation des distances, la profondeur de champ du microscope à utiliser sera de 2 microns. Par contre, des systèmes holographiques ont été construits pour enregistrer sur un seul hologramme des objets de 50 microns sur une profondeur de 18 centimètres. Cela correspond à une augmentation de trois ordres de grandeur de la profondeur de champ. Il est donc possible, à partir d'un hologramme, de reconstituer un microscope de petits objets et d'observer, en particulier, l'un d'eux. Le principe a été appliqué avec un plein succès pour l'analyse dimensionnelle de particules microscopiques en suspension. La technique des hologrammes est également utilisée pour améliorer les performances des lentilles. En effet, l'hologramme d'un front d'onde produit par une lentille présentant une aberration sphérique peut être utilisé comme correcteur de surface asphérique. L'ensemble lentille et correcteur se comporte comme une lentille dépourvue d'aberrations.

Plusieurs photographies peuvent être enregistrées sur un même hologramme, par exemple en utilisant un faisceau de référence faisant un angle différent pour chacune des images. A la reconstruction, en faisant tourner soit l'image, soit la référence, une séquence d'images différentes apparaît.

L'hologramme a une autre propriété appelée mémoire associative qui peut être utilisée pour la reconnaissance de caractères. Voici un exemple: considérons un hologramme obtenu à partir de deux faisceaux. Chaque faisceau illumine séparément des objets A et B, avant de venir se superposer pour former l'hologramme. Or, si nous illuminons celui-ci par un faisceau contenant l'objet A, c'est l'objet B qui est reconstruit, et vice versa. Ces propriétés des hologrammes peuvent être utilisées pour la reconnaissance des lettres manuscrites et la transcription en caractères machine.

Les mesures de petites déformations d'objets arbitraires à trois dimensions peuvent être accomplies en enregistrant un hologramme de l'objet non déformé. L'objet à trois dimensions est alors soumis à une contrainte et un deuxième hologramme est enregistré sur la même plaque. Etant donné que l'hologramme enregistre à la fois les informations de phase et d'amplitude d'une onde, les enregistrements successifs des amplitudes complexes sont équivalents à leur superpositions simultanée produisant des franges d'interférence.

La photographie ultrarapide

Le laser déclenché à rubis émettant des impulsions très courtes est une source idéale pour la photographie des projectiles à très grande vitesse jusqu'à 10 km/s.

La figure 16 donne un schéma du système. La source généralement utilisée est un laser à rubis déclenché par cellule de Kerr. L'énergie de sortie du laser peut être de l'ordre de 100 mJ à 1 J pour une durée de 30 nanosecondes.

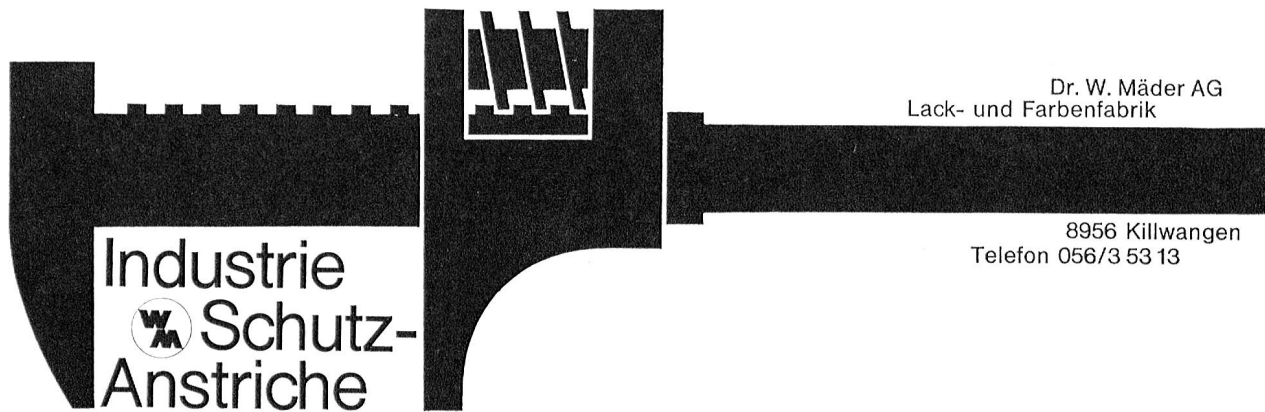
Une lentille à courte distance focale est utilisée pour former le spot laser illuminant le projectile. L'appareil photographique peut être constitué d'une simple lentille, d'un filtre interférentiel à bande étroite centré sur la longueur d'onde d'émission laser, d'un support de pellicule et d'une chambre renfermant l'ensemble. Par utilisation du filtre interférentiel, il est possible d'opérer sans obturateur avec un flux de rayonne-

Kompetent für Richtfunk – und Trägerfrequenzsysteme

- Individuelle und sorgfältige Planung
- Technisch zuverlässige Ausführung

Philips AG, Abt. Telecommunication,
Räffelstrasse 20, Postfach, 8027 Zürich

PHILIPS Militärsektor



Industrie
 Schutz-
 Anstriche

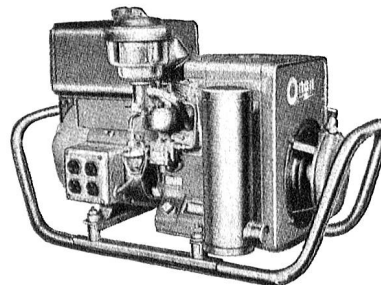
Dr. W. Mäder AG
 Lack- und Farbenfabrik

8956 Killwangen
 Telefon 056/3 53 13

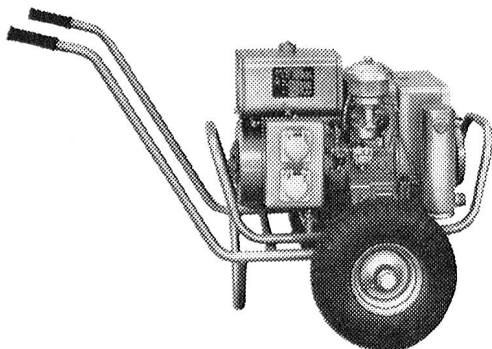
Notstromgruppen

400 Watt — 200 kW

für Armee und zivile Zwecke



Modelle AK und AJ
 800-2000 Watt Wechsel-
 strom



Lassen Sie uns Ihre Strom-
 versorgungsprobleme lösen

Wir beraten Sie gerne

Verlangen Sie eine unverbindliche
 Offerte

AKSA AG

Ingenieurbüro, 8116 Würenlos
 Tel. 056 356 43

ONAN ENGINE / GENERATOR DIVISION
Studebaker
 CORPORATION

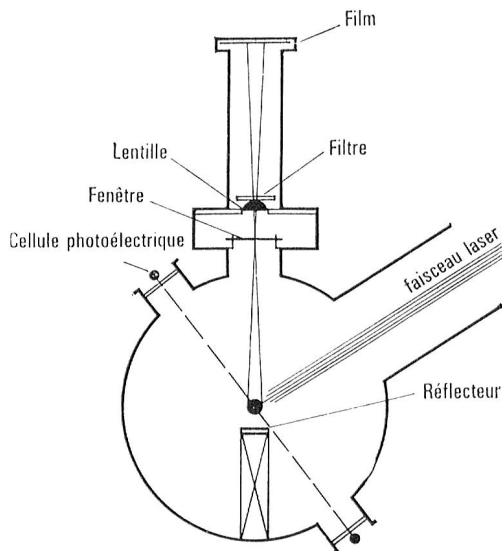


Fig. 16: Le laser déclenché à rubis émettant des impulsions très courtes est la source idéale pour la photographie des projectiles à très grande vitesse

ment ambiant normal et sur un intervalle de temps suffisamment long.

Le déclenchement du laser est effectué par coupure du faisceau lumineux perpendiculaire à la trajectoire du projectile.

Informatique - Visualisation

Le laser associé à des systèmes de déflexion électro-optique ou acoustique et à des systèmes de modulation est à la base d'appareils de visualisation d'images. C'est ainsi qu'un reproducteur laser permet l'inscription sur film d'images retransmises par satellite. La résolution de la photographie ainsi obtenue est dix fois meilleure que celle de la télévision et six fois meilleure que les cartes météorologiques retransmises par les procédés classiques.

Le reproducteur laser peut également être un système idéal pour la fabrication de masques pour la production de micro-circuits dans la technique des circuits intégrés.

L'utilisation des lasers pour l'inscription et la lecture d'informations dans les mémoires des calculateurs a également fait l'objet de recherches, et il semble dès à présent que des solutions peu coûteuses peuvent être à portée. En effet, la cohérence spatiale du laser étant mise en œuvre, il a été possible de stocker plus de 2 millions de bits d'information sur un film de manganèse-bismuth, et ce, sur une surface de l'ordre du centimètre carré. Et il semble que l'information pourrait être lue à la vitesse de 100 millions de bits par seconde en utilisant des procédés électro-optiques très rapides par le faisceau d'un laser d'une puissance d'un milliwatt. Les densités de stockage des informations sont, par ce procédé, trente fois plus grandes qu'avec les mémoires magnétiques à disques, et la vitesse de lecture cent fois plus rapide.

7. La médecine

Ce sont les ophtalmologistes qui, les premiers, ont pensé à utiliser le laser en médecine. Il n'est donc pas étonnant que

ce soit dans cette spécialité que son emploi soit le mieux codifié.

Aux Etats-Unis, de nombreux auteurs ont rapporté les résultats qu'ils avaient obtenus dans le traitement de lésions oculaires par les lasers. Ainsi, à l'Institut d'ophtalmologie de l'hôpital presbytérien de New York a été publiée une statistique portant sur 74 cas se répartissant en 36 déchirures rétineuses, 12 dégénérescences de la rétine, 8 traitements post-chirurgicaux, 4 angiomes etc.

Dans tous les cas le succès thérapeutique a été obtenu, sauf dans deux cas de microanévrisme.

Les lasers employés étaient du type rubis en oscillation libre fonctionnant par impulsions à la longueur d'onde de 6943 Å. L'énergie développée par impulsion variait suivant les cas de 25 à 300 millijoules et était réglée en fonction des observations ophtalmoscopiques des lésions et des résultats obtenus: souvent, plusieurs photocoagulations successives ont été nécessaires et ont été pratiquées avec des énergies de plus en plus élevées jusqu'à l'obtention de l'effet désiré.

Tous les auteurs font remarquer l'énorme progrès que représente la photocoagulation obtenue à l'aide du laser par rapport à celle de l'arc au xénon. En effet, l'élévation de température intraoculaire entraînée par la photocoagulation laser est beaucoup plus faible et surtout très localisée au point d'impact du faisceau.

Par ailleurs, étant donné la durée extrêmement brève de l'impulsion laser (500 microsecondes), l'élévation thermique diffuse peu et la répétition des coagulations est possible sans sommation des effets thermiques. En dermatologie, d'après des travaux effectués à l'hôpital de Cincinnati, le laser s'est révélé comme un agent thérapeutique dans les cas de verrues et de dermatoses séborrhéiques.

En ce qui concerne le traitement des tumeurs malignes, l'utilisation du laser n'en est qu'à son début et fait l'objet de nombreux travaux.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble que le rayonnement du laser à rubis de longueur d'onde de 6943 Å n'ait aucune action sélective sur les cellules cancéreuses en tant que telles, sauf en ce qui concerne les tumeurs pigmentées comme le mélanome. Cependant, on peut artificiellement provoquer cette action sélective par injection intratumorale d'un colorant tel que le bleu de méthylène ou le bleu Evans.

V. Conclusion

Nous avons dans cette analyse passé une revue rapide de différentes applications qu'a pu trouver le laser depuis sa découverte en 1960. Il est certain que la liste donnée n'est pas exhaustive et qu'en particulier dans les interactions lumière-matière et en chimie sélective, des applications, beaucoup plus importantes que celles que nous avons évoquées sont en cours de mise au point et de développement. Nous pouvons conclure que la découverte de ces sources nouvelles de lumière cohérente que sont les lasers ont non seulement apporté un très grand progrès dans le domaine de l'optique et de la physique, mais également est et sera dans le futur à la base de très nombreuses applications aussi bien dans le domaine de la médecine et de la biologie que de la technique et de l'industrie.