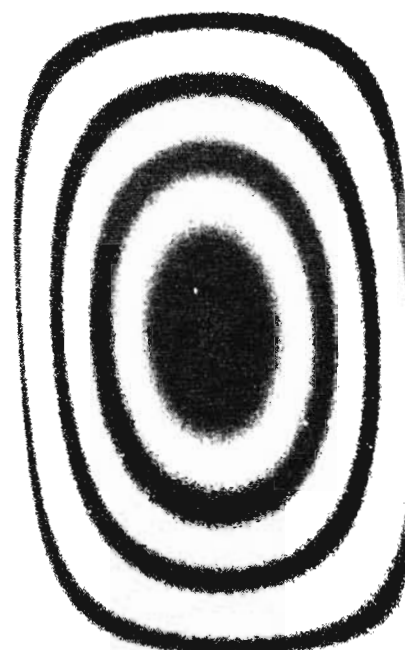




LES LASERS



Marc FERRETTI

LES lasers d'ajustage sont limités, tant en précision que dans la largeur des découpes, essentiellement par la largeur de leur faisceau lorsque celui-ci est focalisé convenablement; et cette largeur de faisceau est, en théorie, deux fois plus faible pour un laser fonctionnant à une longueur d'onde de $0,5320 \mu$ que pour un laser YAG travaillant dans l'infrarouge (1.06μ). En pratique, les systèmes optiques sont conçus pour opérer correctement dans le spectre visible, de sorte que l'écart entre les précisions avec les lasers visibles et les lasers infrarouges est supérieur au facteur 2: cet écart est même souvent proche de 5!

Avec des lasers délivrant des faisceaux à faible longueur d'onde, on atteint ainsi des largeurs de découpe inférieure à 3μ . La firme HOLOBEAM a récemment vendu un laser délivrant un faisceau vert, destiné à la découpe de conducteurs dans les circuits intégrés: des découpes de $0,95 \mu$ de largeur ont pu être réalisées avec ce système!

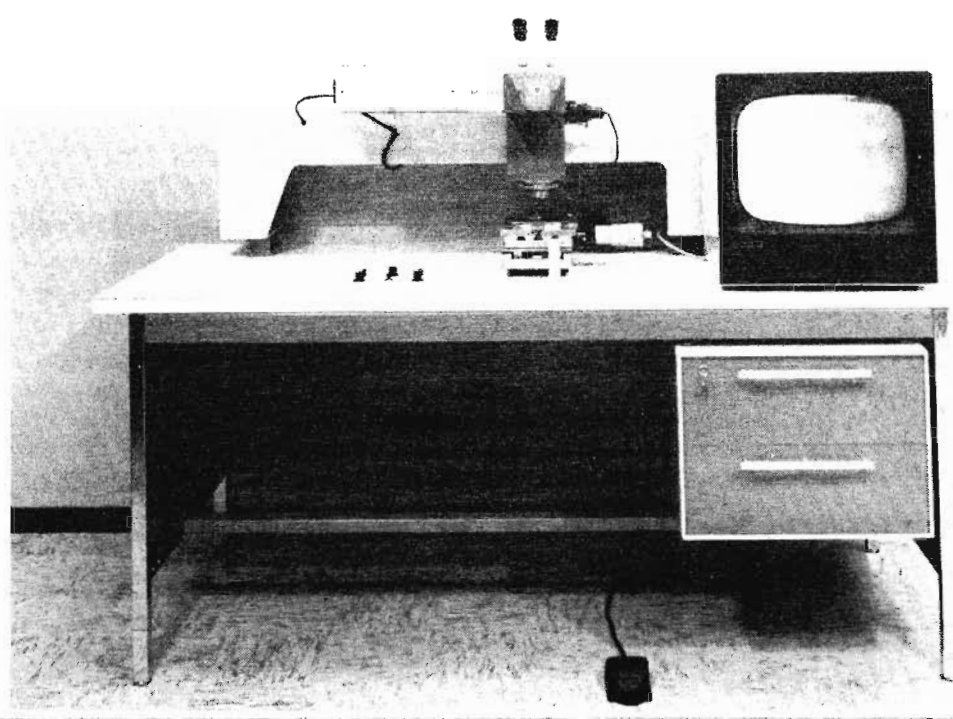
second mode, on dispose d'une impulsion lumineuse de grande puissance, pendant un temps très court. Néanmoins, il est extrêmement difficile de pomper un laser YAG au néodyme à une cadence

supérieure à 50 impulsions par seconde, alors qu'il est aisé de le pomper en continu. Un tel laser à pompage continu produit ainsi 50 W, en continu, à la longueur d'onde de 1.06μ .

Mais celui-ci est difficilement utilisable pour l'ajustage: un faisceau mince ou épais, éclairé par un faisceau infrarouge continu, s'échauffe de manière excessive et a tendance à se vaporiser. On doit as

Photo 5. — Système d'ajustage, par laser, de résistances. Un laser à argon produit 5 à 100 impulsions par seconde, chaque impulsion ayant une durée de 10 microsecondes. La puissance de crête de chaque impulsion atteint 25 W. L'image de la résistance à ajuster est projetée sur l'écran de télévision.

(Cliché HUGHES)



LE SECOND HARMONIQUE

Les lasers les plus couramment utilisés en ajustage sont des lasers à grenat d'yttrium-aluminium (laser YAG) dopés au néodyme. Le pompage* du grenat est, soit continu, soit pulsé: dans ce

cier alors le laser à un « Q-switch » : ce dispositif convertit le faisceau optique continu en une série de brèves impulsions de grande puissance de crête. Une forte puissance est requise pour vaporiser le matériau, et la vaporisation n'affecte le matériau que très localement si le faisceau laser est convenablement focalisé.

L'intérêt du laser YAG est multiple : il possède un rendement relativement élevé (supérieur à 1 %) et la fiabilité du barreau laser se mesure en années. Le coût de fonctionnement de ce type de laser est relativement bas puisqu'il a été évalué entre 1 et 2 F par John B. Palmer, de HOLOBEAM, au cours d'une récente conférence « Internecon 1973 ».

La limitation majeure du laser YAG à obturateur « Q-switch » tient dans le diamètre de son faisceau : la dimension moyenne d'un impact est égale à 25 μ . Si l'on pouvait diviser la longueur d'onde par un facteur 2, et la porter ainsi à 0,53 μ , on devrait, en théorie, diviser également par le même facteur les dimensions de l'impact laser. Cette technique dite de génération de deuxième harmonique, est menée à bien au moyen d'un cristal optique non-linéaire, tel que l'iodate de lithium, de formule chimique LiIO_3 . Ce cristal présente plusieurs caractéristiques intéressantes, en particulier celle d'être résistante à l'effet des hautes densités de puissance optique. Il possède une propriété gênante,

cependant : c'est un cristal soluble dans l'eau. Le cristal ne peut donc pas fonctionner convenablement en présence d'humidité; il est nécessaire de l'insérer dans une enceinte scellée, contenant de l'air sec.

Lorsque l'on associe un système laser — obturateur « Q-switch » de puissance moyenne égale à 20 W, à un générateur de second harmonique, la puissance moyenne chute souvent à 2 W. Les essais ont montré que, pour de nombreux substrats, la puissance optimale se situe entre 300 et 600 mW, avec une cadence de répétition des impulsions laser égale à 20 kHz.

Il serait intéressant, bien entendu, de pouvoir diviser encore par un facteur 2 la longueur d'onde, et travailler ainsi dans l'ultraviolet (longueur d'onde : 0,26 μ). On disposerait alors d'un faisceau de diamètre encore plus faible. Cependant, la puissance dont on pourrait disposer, avec un système générateur de quatrième harmonique, serait bien trop faible pour être utilisable à l'échelle industrielle.

DÉCOUPER, AJUSTER

La première application de ce type d'appareillage est la fabrication

des conducteurs sur les circuits intégrés, les circuits hybrides... Il pourrait servir pour la production de circuits prototypes ou de petites séries (quelques cen-

TABLEAU II. — Caractéristiques d'un dispositif à laser YAG pour l'usinage de micro-circuits.

- Constructeur : Laboratoires de MARCOUSSIS
- Émetteur laser :
 - puissance en continu : 15 W;
 - puissance en impulsions : 15 kW crête à 1 kHz;
 - fréquence de répétition : réglable du coup à coup jusqu'à 30 kHz;
 - durée des impulsions : environ 100 nanosecondes;
 - diamètre du faisceau : réglable entre 1 et 4 mm.
- Dispositif optique :
 - dispositif F 80 mm;
 - diamètre de l'impact laser : réglable entre 20 et 100 μ .

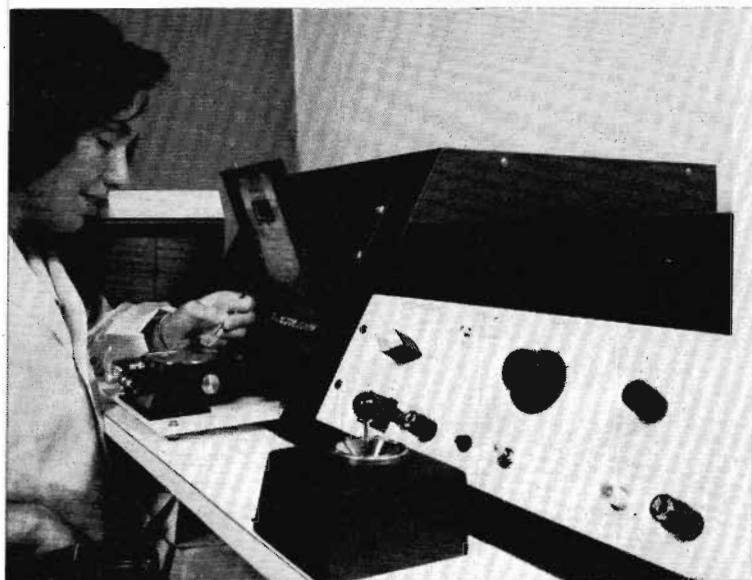
TABLEAU III. — Quelques formules optiques valables de 0,53

Formules	f/D →	30	10	3	1
$d = 0,0006774 f/D$	(millimètres)	0,0203	0,0068	0,0020	0,0007
$\Delta = 0,0013547 f^2/D$	(millimètres)	0,0406	0,0135	0,0041	0,0014
$P/A = 2775020 P / f^2/D$	(watts/mm ²)	$3 \cdot 10^6$	$28 \cdot 10^6$	$308 \cdot 10^6$	$2775 \cdot 10^6$

(valeurs calculées pour un faisceau de 2 W à 10 kHz).

Photo 6. — Laser YAG d'ajustage.

(Cliché RAYTHEON)



Définitions :

f : distance focale de la lentille optique de focalisation du faisceau;

Δ : profondeur de champ;

d : diamètre du faisceau au foyer de la lentille optique;

D : diamètre du faisceau sur la lentille;

P/A : densité de puissance.

Conséquences :

- Pour un faisceau laser de diamètre fixe, la plus courte distance focale donnera le plus petit diamètre du faisceau au foyer, donc le plus faible diamètre d'impact.
- La profondeur de champ décroît avec la distance focale : ceci engendre des contraintes pour l'appareillage (mouvement impossible de la table supportant le circuit à ajuster), et le circuit composant ajusté (qui doit être parfaitement plat).

TABLEAU IV. — Coefficient de réflexion de couches minces métalliques fraîchement préparées, selon la longueur d'onde du faisceau d'éclairage.

Longueur d'onde (micron)	Aluminium	Argent	Or	Cuivre	Rhodium	Remarques
0,260	92,2 %	29,2 %	35,6 %	35,5 %	65 %	Faisceau ultraviolet délivré par un générateur d'harmonique quatre
0,53	91,8 %	97,7 %	47,7 %	60,0 %	77,4 %	Faisceau vert délivré par un générateur de second harmonique
1,06	93,9 %	98,9 %	98,2 %	98,5 %	85,0 %	Laser infrarouge YAG
10,6	98 %	98,9 %	98,4 %	98,8 %	96,0 %	Laser infrarouge à CO ₂

taines de circuits intégrés par exemple), ou encore pour la conception de nouveaux circuits. Dans ce cas, on élimine bien entendu, la procédure normale avec les masques photographiques.

L'emploi d'un faisceau laser avec générateur de second harmonique autorise l'ajustage dynamique de condensateurs en couche mince ou épaisse. Avec un laser travaillant à 1,06 μ , on détruit le diélectrique en vaporisant la plaque supérieure du condensateur en cours d'ajustage : en effet, cette plaque réfléchit fortement les fais-

ceaux infrarouges, de sorte qu'il est nécessaire de faire appel à de fortes puissances pour vaporiser le métal de la plaque. De telles puissances sont trop importantes pour le diélectrique. Les films métalliques voient leur coefficient de réflexion diminuer lorsque la longueur d'onde optique diminue : un film d'or, par exemple, a un coefficient de réflexion de 47,7 % avec un faisceau vert (0,53 μ), alors qu'il atteint 98,2 % avec un faisceau infrarouge. Aux basses longueurs d'onde, le faisceau laser est moins bien réfléchi, donc davantage absorbé : comparativement,

la vaporisation des films minces requiert une puissance moindre avec un faisceau vert qu'avec un faisceau infrarouge. Un faisceau vert ne détériore donc pas le diélectrique lors de l'ajustage de micro-condensateurs.

Une autre application concerne l'isolation d'un élément de circuit intégré, pour une analyse de panne, par exemple, ou encore pour en modifier certains paramètres de fonctionnement : un seul circuit intégré peut ainsi être conçu pour remplir plusieurs fonctions.

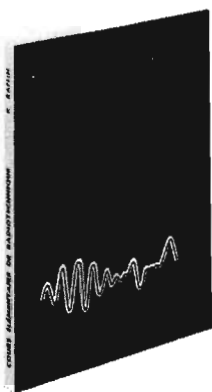
LES LASERS A ARGON ÉGALEMENT...

Le laser à argon émet son faisceau dans le spectre visible : on peut donc également envisager de l'utiliser à des fins de micro-usinage. Johann KRUGER et Wolfgang JASMES, aux Laboratoires de recherches PHILIPS de HAMBURG, ont mis à profit ce dernier principe, et ont employé un laser à argon de puissance continue égale au watt. Le faisceau optique traverse un modulateur électro-optique, puis il est envoyé sur un déflecteur pour réaliser à partir de prismes biréfringents en calcite, et d'une cellule de KERR en nitrobenzène. Ce déflecteur électro-optique est capable de diriger le faisceau laser suivant... 1024 directions de déviations possibles!

M. FERRETTI

* Lors du pompage on excite un barreau solide (ou un tube gazeux) pour que l'effet laser y prenne naissance. Le pompage peut être optique, électrique, thermique... selon le mode d'excitation de la matière active.

VIENT DE PARAÎTRE



COURS ÉLÉMENTAIRE de Radiotechnique

de
Roger A. RAFFIN

Ce nouvel ouvrage de Monsieur R.A. RAFFIN, traite de tous les problèmes concernant aussi bien la technologie que la théorie élémentaire, des circuits électroniques utilisés actuellement, y compris les plus modernes, comme par exemple : les diodes BACKWARD, les diodes VARICAP, les transistors à effet de champ et même les circuits intégrés. Ce livre permettra de bien s'initier à la radiotechnique et, d'autre part, des techniciens ayant quitté depuis longtemps l'école, pourront se recycler rapidement en lisant ce livre.

Extrait du sommaire :
Principes fondamentaux d'électricité — Résistances — Potentiomètres — Accumulateurs — Piles — Magnétisme et électromagnétisme — Le courant alternatif — Les condensateurs — Acoustique — Emission et réception — La détection — Les tubes — Redressement — Diodes — Lampes — Semi-conducteurs

Un ouvrage format 15 x 21 cm de 312 pages, sous couverture pelliculée, avec 230 schémas — Prix : 35 F

En vente à la

LIBRAIRIE PARISIENNE DE LA RADIO
43, rue de Dunkerque, 75010 PARIS
Tél. : 878-09-94/95 - C.C.P. 4949-29 PARIS

(Aucun envoi contre remboursement — Ajouter 15 % pour frais d'envoi à la commande.)

LISEZ RADIO PLANS

La revue mensuelle de
l'électronique appliquée

En vente
chez tous les marchands de journaux