

LES

LASERS



Marc FERRETTI

L'ajustage au laser

L'APPARITION de lasers industriels a modifié, de façon radicale, les techniques de fabrication des circuits électroniques hybrides. Le laser est propre et ne contamine pas les matériaux traités; grâce à lui, il a été possible de rendre entièrement automatique l'usinage, et d'améliorer la productivité des chaînes.

Néanmoins, l'introduction de l'ajustage automatique par laser n'a pas été une opération aisée : des problèmes techniques ont été rencontrés, ce qui a entraîné une période d'adaptation de la part des utilisateurs, en étroite collaboration avec les constructeurs.

L'AJUSTAGE PAR LASER DE RÉSEAUX RÉSISTIFS HYBRIDES

De nombreuses recherches sont entreprises actuellement sur l'ajustage par laser de réseaux résistifs sur circuits hybrides. Dans ces circuits, les composants résistifs sont formés par évaporation de nichrome ou de tantale (cas des circuits à couches minces, d'épaisseur comprise entre 0,025 et 2,5 microns) : en agissant sur la longueur, la largeur et l'épaisseur du film, on peut utiliser ces deux matériaux pour réaliser des résistances dont la valeur est comprise entre 10 ohms et 1 mégohm.

La réalisation des circuits à films épais fait habituellement appel aux techniques de la sérigraphie. Les matériaux de base sont, ici, des encres résistives, conductrices (et éventuellement diélectriques pour les condensateurs), qui se présentent sous forme de pâtes contenant les éléments suivants : des métaux précieux pulvérulents, des verres spéciaux en poudre, un liant organique et un diluant constitué par un mélange de solvants. Ces ingrédients, intimement mélangés, forment une pâte épaisse, que l'on dépose sur des plaquettes de céramique par sérigraphie. Les résistances sont les éléments les plus importants d'un circuit à film épais : on obtient une gamme très large de résistances par le choix du type d'encre et par la variation de la géométrie des résistances imprimées. La résistivité des couches résistives s'exprime usuellement en « Ohms par carré »; c'est en fait, une résistivité superficielle. Un petit carré aura la même résistance qu'un plus grand pour une épaisseur de couche identique et pour une encre donnée (Lig. 1); cette dernière observation justifie la notion de résistivité superficielle. On notera que l'impression de deux carrés juxtaposés double la résistance globale, l'impression de trois carrés la triple...

Les lasers sont capables d'ajuster les résistances déposées en couche mince comme en couche épaisse. Encore faut-il songer à optimiser le travail au laser, afin d'accroître le rendement à la production et d'obtenir une meilleure qualité : en particulier, le processus de l'ajustage, peut, si l'on n'y prête pas attention, conduire à des instabilités tant en température

que dans le temps. Trois paramètres sont à surveiller de près : le mode de fonctionnement du laser utilisé, la géométrie de la résistance ajustée, et le type de matériau qui la compose.

Les lasers déclenchés à grenat d'yttrium-aluminium (lasers YAG) sont fort employés pour l'ajustage. Ils délivrent des trains d'impulsions de grande énergie; la

Le laser permet de fabriquer des composants électroniques et de dessiner des circuits imprimés et intégrés.

(Cliché Bell téléphone Lab.)

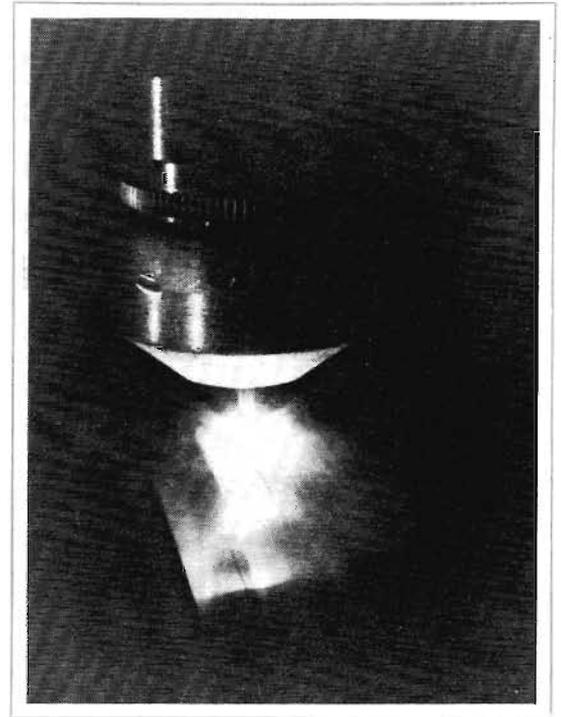


Photo 1. —

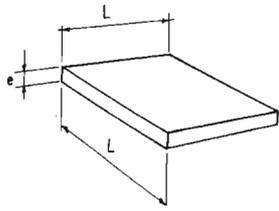


Fig. 1. — La résistance d'un carré de résistivité ρ tout $R = \rho L/s$. Ici la section $s = le$, donc $R = \rho e$. Le côté du carré n'intervient donc pas.

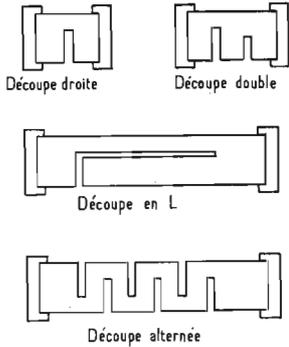


Fig. 3. — Découpes de résistances par laser.

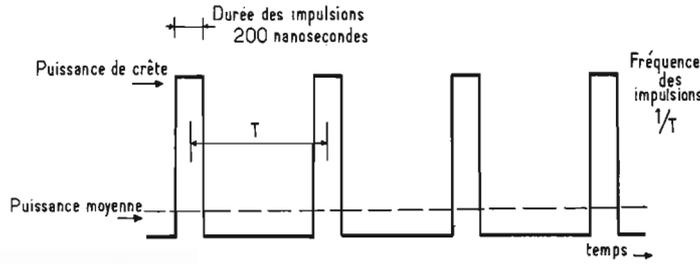


Fig. 2-a) Impulsions optiques émises par un laser à grenat d'yttrium-aluminium (Laser YAG).

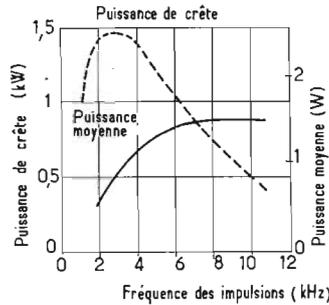


Fig. 2-b) Performances d'un laser YAG utilisé en ajustage de résistances (laser Electro-Scientific Industries Inc. servant chez DUPONT DE NEMOURS).

durée des impulsions varie entre 50 et 200 nanosecondes; deux impulsions successives sont séparées par un intervalle de temps compris entre 100 microsecondes et quelques millisecondes.

L'intérêt des impulsions de très courte durée provient de la très grande énergie qu'elles transportent; cette énergie est suffisante pour vaporiser rapidement le matériau sans qu'il y ait une trop forte conduction de chaleur aux régions voisines de celle qui est usinée. Un échauffement de ces régions, de plusieurs centaines de degrés est à redouter, car au cours

du refroidissement qui suivrait, des contraintes mécaniques locales pourraient prendre naissance, et elles seraient susceptibles d'engendrer et de propager des fêlures en cours de fonctionnement. La résistance deviendrait alors instable.

Les lasers YAG produisent, en valeur de crête, une puissance qui décroît lorsque la fréquence des impulsions augmente, au-delà de 2,5 à 3 kHz. Aux fréquences élevées, le laser YAG ne peut fournir de faisceau suffisamment énergétique pour vaporiser complètement le matériau à usiner; la chaleur

apportée à ce matériau, et qui est insuffisante pour le vaporiser, se dissipe au sein de la résistance, bien entendu en la chauffant et en y générant des micro-défauts nuisibles au fonctionnement du composant. En conséquence, il ne faut jamais faire travailler le laser YAG à une grande fréquence. De bonnes performances sont obtenues, pour une vitesse d'ajustage de 12 mm/s, avec un laser délivrant une puissance moyenne de l'ordre du watt à 3 kHz, avec des impulsions de durée égale à 100 nanosecondes, et une puissance de crête de 3 kilowatts.

LE LASER DÉCOUPE DES RAINURES ET DES TROUS

Les techniques de découpe au laser pour l'ajustage d'une résistance doivent être adaptées à cette résistance. Des règles générales ont été adoptées pour ces techniques :

- découpes droites ou parallèles, pour les résistances à rapport fractionnel ou unique;

- découpes en forme de « L » ou découpes alternées pour des résistances à rapport multiple.

La forme de la découpe dépend des dimensions de la résistance, de la résistivité de la pâte, et de la différence de résistance entre valeurs finale et initiale.

Chez Rohde et Schwarz, Hans Delfs a mis au point une technique d'ajustage dans laquelle ce sont des petits trous et non des rainures qui sont réalisés pour l'ajustage des résistances. Ces trous sont formés avec un laser YAG fonctionnant entre 3 et 5 kHz : chaque impulsion fait son propre trou. L'ensemble des trous est distribué de manière aléatoire sur toute la surface de la résistance; le diamètre d'un trou doit, en règle générale, être inférieur au cinquième de l'épaisseur de la couche à ajuster.

Cette dernière technique permet d'ajuster des résistances en couche mince de très faible largeur (100 microns).

H. Delfs a montré qu'on modifie de 10 % la valeur d'une résistance en lui enlevant 5 % de sa surface; dans le cas typique d'une résistance occupant une superficie de l'ordre du millimètre carré, on augmente de 25 % la valeur de la résistance en y perçant entre 300

(suite page 272)

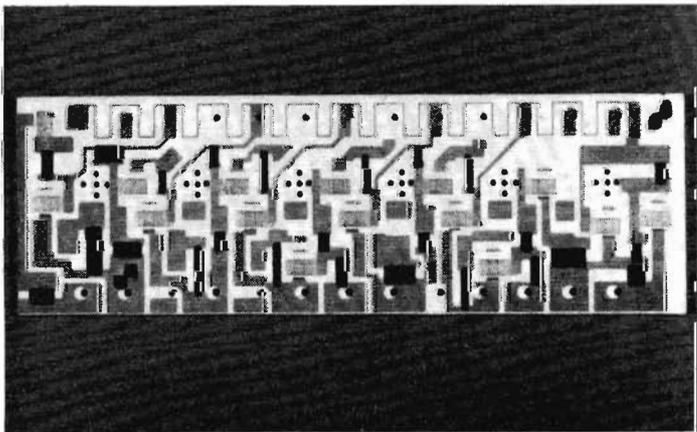


Photo 2. — Circuit en film épais.

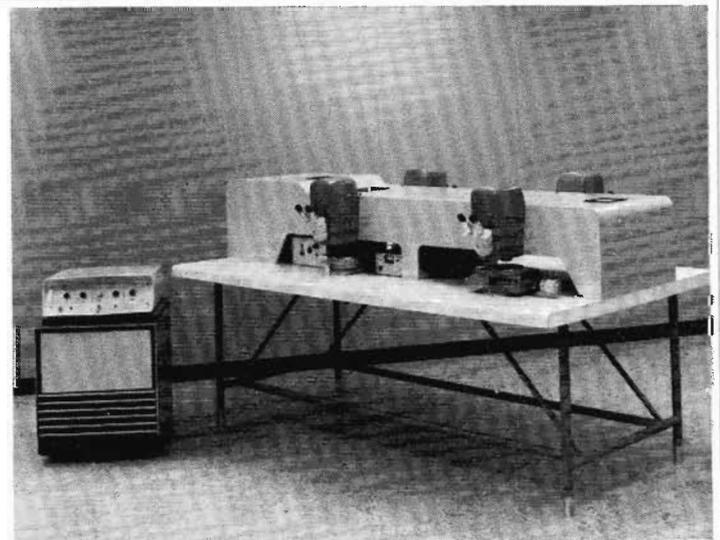


Photo 3. — Postes d'ajustage de résistances par laser.

(Cliché Hughes)

LES LASERS

(suite de la page 268)

et 400 trous de 20 microns de diamètre; cet ajustage se réalise en 0,1 seconde, et la précision de la résistance obtenue est approximativement de 0,2 %.

(à suivre)

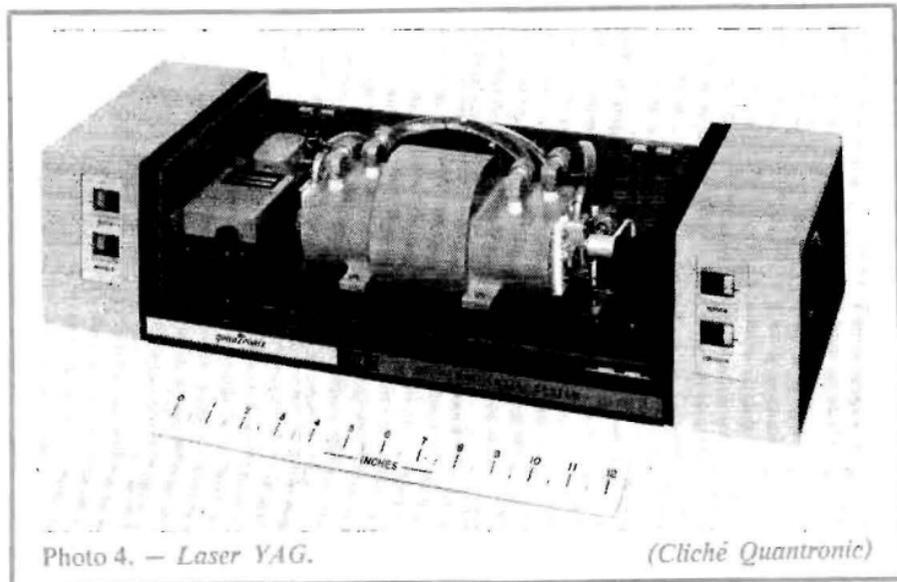
M. FERRETTI

TABLEAU I

Qui fabrique des systèmes d'ajustage, par lasers, résistances?

- + Apollo laser.
- + Coherent Radiation.

Page 272 - N° 1459



- + Hadron.
- + Holobeam.
- + International Research.
- + Jungner Instruments.
- + Korad.
- + Laser Applications.
- + Laser Associates.
- + Micronetics Systems.
- + Quantronic.
- + Raytheon.
- + Siemens.
- + Spacerays.
- + Survey et Général Instrument.
- + TRW Instruments.