

Electronique et photo

Les circuits intégrés

Vous en trouvez aujourd'hui partout : ce sont eux qui sont le centre nerveux des calculatrices électroniques, des montres, des appareils photo. Pourquoi le circuit intégré ? Tout simplement parce que l'espace coûte cher et que l'on ne peut pas mettre 50 transistors en boîtier plastique ou métallique dans celui d'un 24x36 reflex et encore moins d'un 110.

Le circuit électronique des appareils photographiques est plus complexe que celui de l'obturateur que nous avons vu dans notre dernière divagation électronique. A titre d'application, nous prendrons un exemple de circuit, celui fabriqué par la firme allemande Siemens, un circuit prévu pour déclencher un dispositif électronique (votre obturateur par exemple).

A l'entrée de ce circuit (figure 1), arrive une tension. Cette tension, (voltage) sera celui que l'on aura pris aux bornes d'un condensateur. Ce condensateur, nous le chargerons au travers d'un photo-élément. A l'intérieur du boîtier que nous avons symbolisé, il y a un circuit électronique. N'entrons pas encore dans le détail. Le circuit détectera la tension, et, dès que le seuil préréglé sera atteint, il se comportera comme un interrupteur : l'électro-aimant d'obturateur est commandé par cet interrupteur, nous aurons ainsi réalisé un obturateur électronique. Le circuit

de commande est très petit et n'exige qu'une main-d'œuvre réduite. Sa fiabilité est importante car ce composant a été fabriqué dans des conditions climatiques rigoureuses. Il suffit de trois éléments pour réaliser notre calculateur d'exposition. Si nous voulons aller plus loin, nous réaliserons un circuit annexe de réglage externe de sensibilité, pour adapter la durée d'exposition à la sensibilité de la pellicule. Cette fonction peut d'ailleurs être optique, un filtre à densité variable pouvant être glissé devant le photo-élément. La figure 2 donne la configuration interne du circuit intégré. Nous n'irons pas plus loin. Il équivaut à 14 transistors, 13 résistances et deux diodes. Tous ces composants ont été réunis sur la photo 1 et présentés à côté du circuit intégré qui les contient. Un miracle de la technique. Miracle qui s'accomplit grâce à la photo, car ce sont des procédés photographiques qui sont mis en œuvre pour réaliser ces circuits.

Nous sommes ici en présence d'un circuit qui comporte un nombre réduit d'éléments, c'est un circuit intégré dit à petite échelle. Souvent, les fabricants d'appareils parlent de leur circuit intégré en disant qu'il remplace 50 ou 60 transistors. En réalité, il s'agit un peu d'impressionner le client. En fait, on peut considérer que le montage à transistor qui effectuerait les



2. Système de télécommande par émetteur infrarouge.

mêmes opérations comporterait peut-être une dizaine de transistors. Le nombre élevé est dû au fait que les performances des transistors intégrés ne sont pas aussi bonnes que celles des transistors séparés et qu'il est plus facile de faire un transistor qu'une résistance.

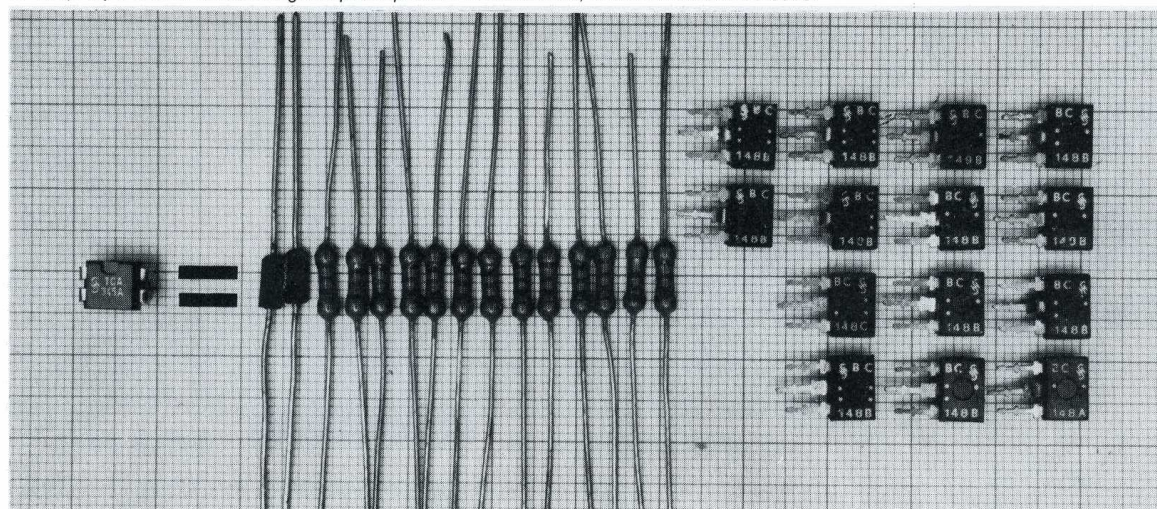
Comment fabrique-t-on un circuit intégré ?

Un circuit intégré est une pastille de silicium (a) sur laquelle on a réalisé de tout petits transistors isolés électriquement et réunis entre eux par des conducteurs ou des résistances intégrés à la matière.

Figure 3. Nous partons d'une pastille de silicium de 50 à 75 mm de diamètre. Sur cette pastille est déposée par une méthode épitaxiale (b) une couche de semi-conducteur de type N (souvenez-vous des transistors NPN et PNP). La pastille est alors oxydée pour obtenir une couche de dioxyde de silicium. Cette couche est ensuite recouverte d'une laque photosensible (d) qui est impressionnée au travers d'un masque. Celui-ci servira à placer une série de bases de transistors. Une fois la résine développée, on attaque chimiquement la couche d'oxyde de silicium (e). On opère ensuite une diffusion d'impuretés P (dopage) par des atomes de bore (f). Les impuretés ne se déposent qu'aux endroits laissés à découvert. Ensuite, une nouvelle oxydation (g) suivie d'une autre opération de photogravure permet de réaliser les émetteurs des transistors (h). Il reste alors à joindre les émetteurs, les collecteurs, les bases et des résistances qui ont été ajoutées au long du processus (i) pour retrouver un disque couvert de centaines de petits circuits intégrés terminés. Chaque circuit à une surface d'un millimètre carré ou plus, le disque de silicium en contient donc beaucoup.

Une machine teste les circuits élémentaires un par un, élimine les mauvais, les bons sont mis

1. Ce qu'il y a dans le circuit intégré à quatre pattes : 14 transistors, 13 résistances et 2 diodes.



de côté pour être montés dans des boîtiers. Les techniques de réduction photographique permettent d'obtenir une extrême précision dans les dimensions des éléments.

Le masque de départ est réalisé sur des machines avec une précision de l'ordre du micron. Ces masques sont à l'échelle 100 ou plus. On utilise un support plastique indéformable couvert d'un enduit pelliculable. Ce sont des couteaux positionnés par machine (coordinatographe) qui assurent le dessin. Après une première réduction, plusieurs images sont juxtaposées pour former un masque capable de couvrir la surface d'une pastille et de faire de 80 à 1 600 circuits à la fois, en fonction de leur complexité. On imagine facilement la précision dimensionnelle obtenue en fin de fabrication. Pourtant, si l'intégration normale, celle des circuits du type que nous venons de voir est étendue, les fabricants sont allés plus loin.

Les circuits « LSI »

LSI est un terme qui ne dit rien au profane, c'est normal : il vient de l'anglais. Il est constitué par les initiales de Large Scale Integration : en français, intégration à grande échelle. C'est une appellation qui veut tout simplement dire que le circuit intégré comporte plus de 500 transistors. Au-dessous, entre 50 et 500, nous avons une intégration à moyenne échelle et pour moins de 50 une intégration à petite échelle. Tout simplement LSI voudra donc dire que les fonctions qui ont été intégrées sur le circuit sont extrêmement complexes et que le circuit intégré se chargera d'un grand nombre d'opérations. A titre d'exemple, on pourra citer les circuits de commande du défilement de certaines caméras comme la Movexoom d'Agfa.

Cette caméra est équipée d'un circuit intégré accomplissant plusieurs fonctions qui sont le fonctionnement image par image avec intervalle variable, 5 secondes de prise de vues après une attente de 10 secondes, 10 secondes de prise de vue après une attente de 10 secondes, etc. Ce circuit commande aussi le moteur d'ouverture et de fermeture du diaphragme.

Les circuits MOS

L'origine de MOS est anglaise (encore) : Metal Oxide Semiconductor. On ne précise pas qu'il s'agit ici d'un transistor dit à effet de champ, un transistor qui se commande avec un courant infiniment fai-

ble, voire nul (commande en tension). La consommation infime de ces circuits est un avantage essentiel pour les appareils portables que sont, entre autres, les caméras et les appareils photo. Le transistor MOS est beaucoup plus simple à réaliser que le précédent (bipolaire), il occupe une surface plus faible, ce qui permet d'installer davantage de transistors élémentaires sur une surface de semi-conducteur donnée.

Un exemple, sur une surface de 16 millimètres carrés (un carré de 4 x 4 pour ceux qui n'ont pas envie de faire le calcul) on peut loger 1 800 transistors, soit 112 transistors au millimètre carré, au lieu de 4 au millimètre carré pour un transistor discret et une vingtaine pour un amplificateur intégré en technique classique.

Seulement, une fois que la pastille de silicium est là, il faut la mettre dans un boîtier, c'est là que le circuit intégré prend une nouvelle dimension. Des 16 millimètres carrés du départ, nous arrivons à une surface « au sol » de 450 millimètres carrés. Rassemblez-vous, si les 1 800 transistors avaient dû trouver place sur un circuit, il en aurait fallu bien plus...

L'interconnexion des circuits

Maintenant que nous avons vu quelques-uns des composants qui sont les briques de l'édifice qu'est une électronique d'appareil photographique, il va falloir réunir tous ces composants. Plusieurs méthodes sont utilisées.

Le circuit imprimé est une méthode « d'interconnexion par rubans de cuivre » bien qu'un terme plus précis soit celui de « câblage imprimé ».

Circuit imprimé signifie en effet que les composants sont imprimés, ce qui peut se concevoir. Dans le cas des circuits imprimés classiques, les méthodes photographiques sont aussi à l'honneur. Le fabricant part d'un film plastique sur lequel est déposée une couche régulière de cuivre. Suivant l'épaisseur et la nature du film, nous obtiendrons un circuit rigide ou souple. Si le film est souple, il pourra par exemple aisément contourner le prisme du viseur réflex et sera incassable. Vous voyez tout de suite ce que nous voulons dire. Le fabricant part du schéma de câblage et connaît des dimensions de tous ces composants. Il les répartit dans l'appareil, en fonction de la place disponible et réunit les fils des composants par le circuit. Cette conception est relativement simple.

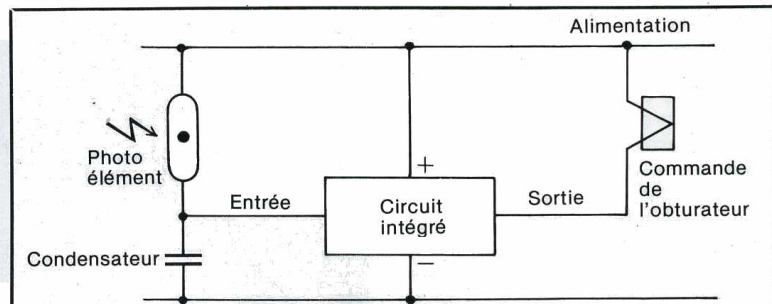


Fig. 1. — Circuit intégré pour obturateur.

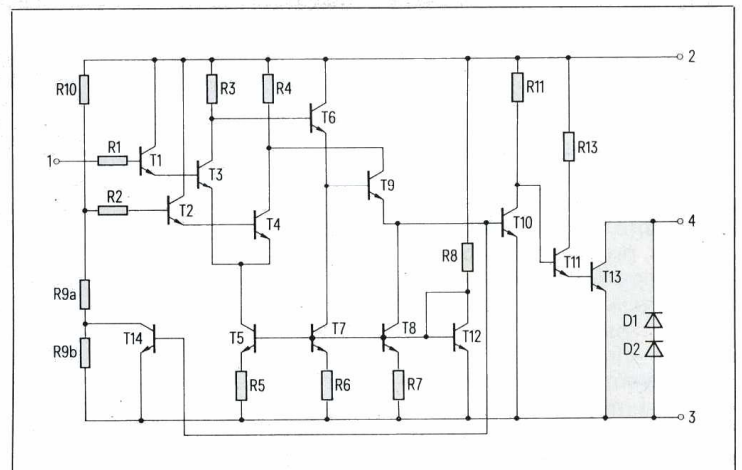


Fig. 2. — Configuration interne du circuit de la figure 1.

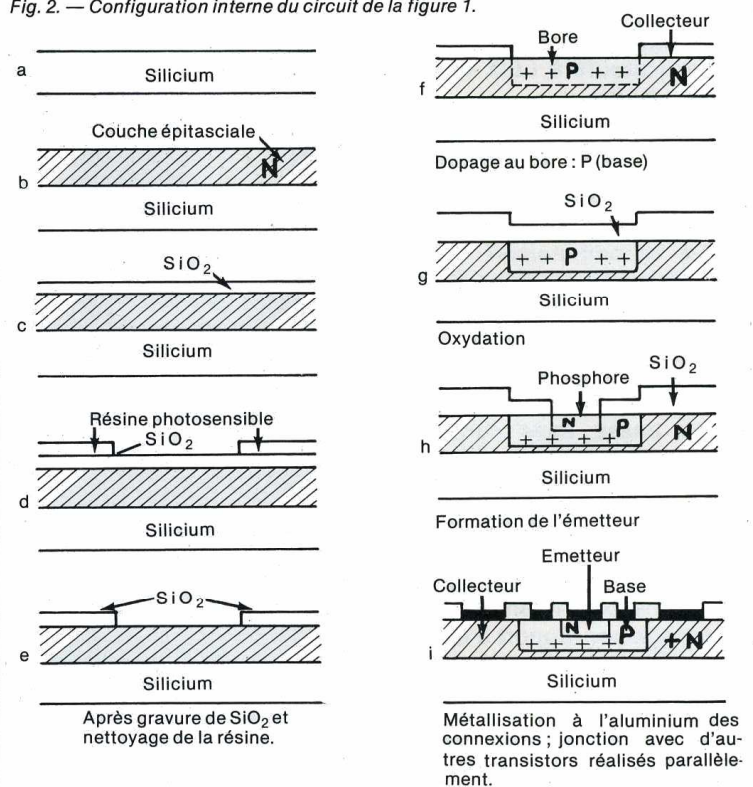


Fig. 3. — Réalisation étape par étape d'un circuit intégré.

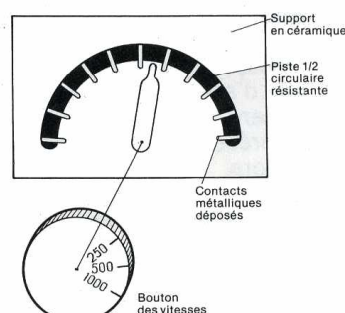


Fig. 4. — Potentiomètre spécial pour sélecteur des vitesses.

D'autres techniques sont utilisées, notamment en ce qui concerne les sélecteurs de diaphragme ou de vitesse. Les vitesses et les diaphragmes suivent une progression régulière. Les constructeurs ont besoin de tout petits commutateurs qui sont réalisés par sérigraphie (fig. 4). Nous partons d'un support de céramique sur lequel est déposé une « couche résistance » par sérigraphie. Ensuite, des contacts sont déposés, toujours par sérigraphie. Là encore, les techniques photographiques sont à l'honneur, pour la réalisation des écrans par exemple.

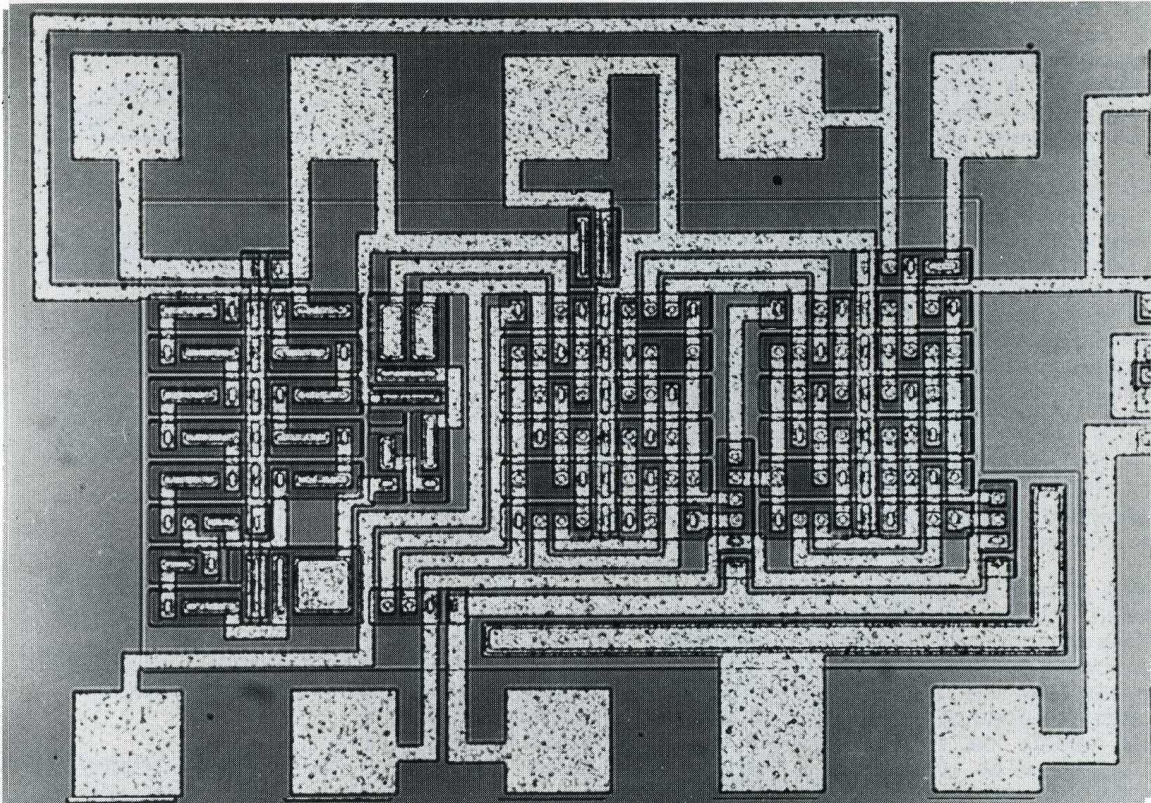
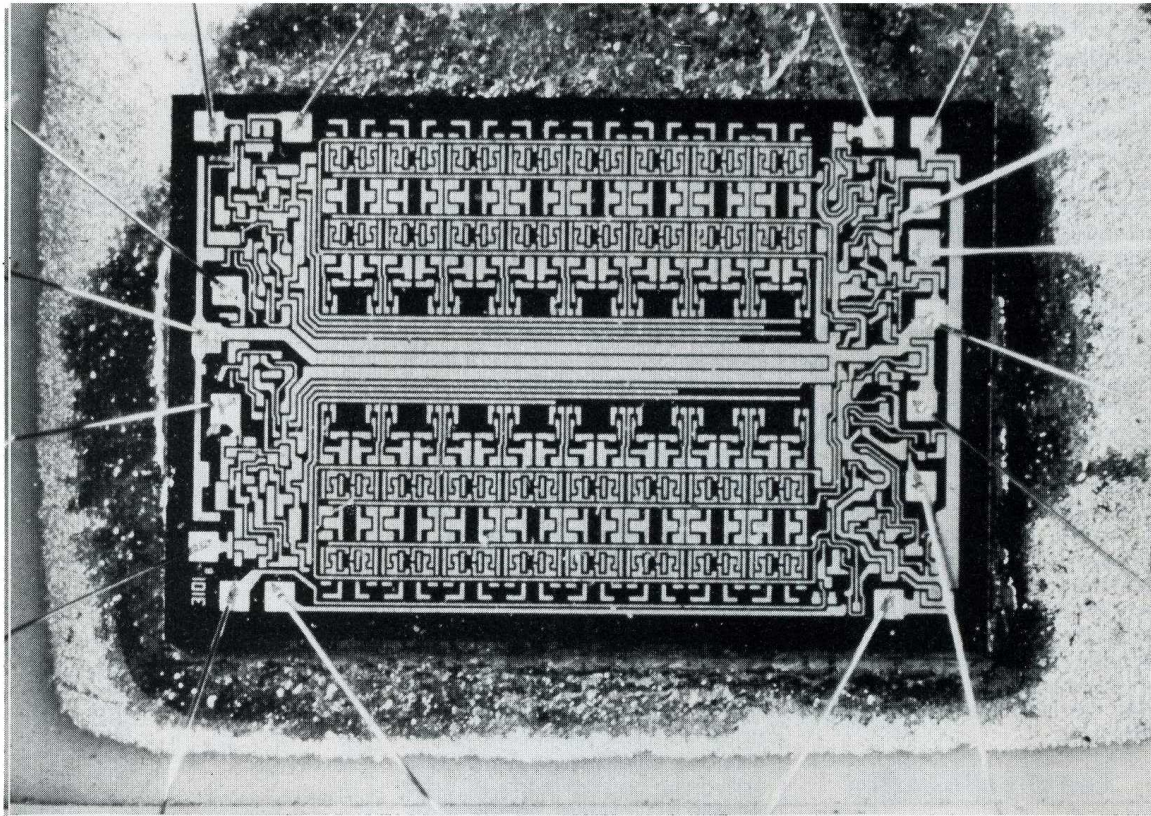
Le câblage traditionnel par fils et soudure existe toujours, le fil est isolé et sert à réunir les composants et les contacts.

Dans les projecteurs sonores, l'électronique est celle de tous les appareils grand public. Des circuits imprimés, quelque fois des circuits intégrés, le plus souvent de simples transistors. La miniaturisation n'est plus essentielle. Les techniques sont traditionnelles.

De nouveaux composants ont fait leur apparition depuis quelques années, ce sont les LED. Des indicateurs à LED, des afficheurs à LED.

LED. Light Emitting Diode. Diode émettrice de lumière. Une photodiode transforme la lumière en électrons, le diode LED effectue l'opération inverse. La recombinaison d'électrons dans une jonction de deux matériaux semi-conducteurs entraîne une oscillation des électrons à une fréquence correspondant à celle d'une émission lumineuse. Un phénomène qui se passe dans certaines conditions. Suivant la fréquence d'oscillation la couleur sera différente. Actuellement il existe des diodes infrarouges, des rouges, des jaunes et des vertes. En attendant le bleu réalisé sous forme expérimentale.

L'avantage par rapport à la lampe consiste en la possibilité d'avoir une toute petite diode, insensible aux chocs. La combinaison de plusieurs de ces diodes permet de réaliser des afficheurs présentant des chiffres en lecture directe, un exemple typique de cette technologie étant, pour la photo le ST 901 de Fuji et, pour la projection le T 600 de Bauer dans lequel le compteur est remplacé par un afficheur à diodes LED prévu initialement pour la réalisation des calculatrices électroniques. Sa consommation très faible lui permet de venir s'installer dans les viseurs comme témoin de tel ou tel événement, comme une vitesse trop lente nécessitant l'intervention d'un pied. L'élec-



tronique permettra aussi parfois d'attirer l'œil par un clignotement, une fonction qui exige la présence de plusieurs transistors.

La diode LED peut aussi se faire puissante. Elle rayonnera dans l'infrarouge et, quelques mètres plus loin, un récepteur sensible à l'infrarouge récupérera l'onde émise pour l'amplifier et lui fera commander par

exemple le déclenchement d'un appareil photo ou d'une caméra; c'est une télécommande par infrarouge qui est insensible à l'environnement ambiant et qui ne nécessite pas d'autorisation d'émission.

Ce n'est sans doute pas fini, l'électronique ira sans doute plus loin, mais où ?

Etienne Lemery

3. Comment se présente un circuit intégré ! Le silicium est soudé sur une céramique métallisée, les fils assurent la fonction avec l'extérieur. Dimensions : 3 x 4 mm. (Photo E. Lemery).

4. Un circuit intégré photosensible présenté par le laboratoire de recherche de Siemens. Directement exposé à la lumière ! Une multitude de transistors sont ici intégrés sur 0,3 mm². (Photo Siemens).