

# La chimie dans l'électronique

*Jean-Claude Dubois*

**L**a chimie intervient à tous les niveaux de l'électronique (fig. 1), au niveau de l'élaboration des matériaux de base et ensuite au niveau de la transformation de ces matériaux en composants ou en systèmes.

Par exemple, l'unité centrale d'un ordinateur comporte des composants actifs (circuits intégrés) ou passifs (condensateurs, connecteurs...) pour lesquels la chimie a fourni les matériaux spécifiques tels que le silicium. La chimie a contribué également à les fabriquer et à les mettre en forme : par exemple les photoresists, les agents de gravure, les solvants, certains dépôts métalliques... De même, la chimie fournit les moyens pour protéger ces composants : les oxydes, les polymères d'encapsulation, les céramiques, etc.

Quant aux systèmes de visualisation, ils sont constitués, par exemple, d'un tube cathodique ou d'une cellule à cristaux liquides. Dans les deux cas, la chimie entre dans la préparation des luminophores (ou « phosphors »), de la cathode du tube cathodique, ou encore dans la synthèse des cristaux liquides et dans la mise en forme des cellules.

Ajoutons encore que notre ordinateur ne serait pas complet sans un système d'enregistrement, pour l'instant un système magnétique, utilisant des supports d'enregistrement, bandes ou

disques magnétiques, pour lesquels, là encore, il faut faire appel à la chimie.

Tous ces équipements deviennent de plus en plus puissants, de plus en plus sophistiqués, de même que les composants actifs ou passifs qui entrent dans leur fabrication.

Cette augmentation de puissance et de complexité se traduit d'ailleurs par une augmentation de densité des composants, donc par une diminution de volume. On considère que trois baies d'électronique d'il y a dix ans sont maintenant l'équivalent de dix litres d'appareillage (fig. 2).

Thomson est l'un des leaders mondiaux dans deux domaines : l'électronique grand public et l'électronique de défense. Il est également présent dans le secteur de la télévision professionnelle.

Dans le domaine grand public, Thomson s'est affirmé industriellement sur le marché de la télévision, de la vidéo et des produits audio. Dans le domaine de l'électronique et des systèmes de défense, Thomson est présent dans les systèmes de détection, contrôle et communication, dans les systèmes d'armes, les équipements aéronautiques civils et militaires.

## L'ÉLECTRONIQUE ET LA CHIMIE

Dans tous ces équipements, les matériaux et la chimie jouent un rôle important. Bien sûr, le silicium est le produit principal dans la constitution des circuits intégrés, composants clefs de l'électronique.

D'autres semi-conducteurs tels que l'arséniure de gallium ou le phosphore d'indium commencent à être utilisés, car ils présentent des performances avancées dans les domaines des hyperfréquences ou de l'optoélectronique. Pour ces composants, la chimie fournit les produits et les plaquettes taillées dans des monocristaux de très haute pureté. Elle fournit aussi les photoresists et les agents de gravure pour leur réalisation. Pour augmenter les performances des circuits, il est nécessaire de réduire leur taille. On réduit alors leur consommation, on augmente la vitesse de réponse, et on diminue le prix. Un ordinateur sera d'autant plus puissant que ses composants de base, les transistors, seront plus nombreux et plus rapides.

Actuellement, les VLSI (circuits hautement intégrés) demandent des largeurs de trait de l'ordre de 0,8 à 1  $\mu\text{m}$ . Il existe déjà dans les laboratoires des composants utilisant des éléments de 0,1  $\mu\text{m}$ . Les contaminants et les impuretés doivent être éliminés des produits utilisés pour fabriquer les composants, parce qu'un défaut de l'ordre de 0,01 à 0,2  $\mu\text{m}$  peut détruire les performances du chip ou sa fiabilité. A titre indicatif, une bactérie a des dimensions de l'ordre de 0,2  $\mu\text{m}$ , un virus 0,04  $\mu\text{m}$ . Les conditions pour obtenir un bon rendement sont à ce prix de pureté.

En 1989, le marché mondial des composants à semi-conducteurs (tableau I) est de l'ordre de 50 milliards de dollars. Les matériaux semi-conducteurs représentent environ 1,8 milliard de dollars (0,2 pour l'AsGa) tandis que les produits chimiques consommés pour leur fabrication (photoresists, agents de gravure) représentent un marché estimé à 2,3 milliards de dollars.

La complexité des circuits s'accroît en même temps que la taille des éléments discrets diminue. Certains prototypes atteignent aujourd'hui des capacités de mémoire de 16 et même 64 millions de bits. Les produits spécifiques de la chimie ont permis cette évolution. Ces produits représentent en général des quantités relativement faibles, mais la valeur ajoutée et le taux de croissance sont importants.

De plus en plus les produits de spécialité remplacent les produits de commodité. Voici quelques exemples :

- les différentes compositions des couches épitaxiées,
- les mélanges de gaz spéciaux,
- la variété des boîtiers de céramique,
- les différentes formes de lead-frame (embases de connexion),
- la variété des résines de moulage.

Il faut aussi connecter et protéger le VLSI, et on utilise des matériaux d'encapsulation et de support tels que les « boîtiers » et les résines d'encapsulation. Là aussi, la chimie fournit les matériaux nécessaires. Ces produits représentent un marché de l'ordre de 1,9 milliard de dollars (tableau II).

Les composants doivent être ensuite connectés entre eux avec des circuits imprimés (tableau III). Ce marché est de l'ordre de 10 milliards de dollars. Le coût en matériaux (matière plastique, verre époxy, cuivre, encapsulation) y est de 4,2 milliards de dollars. Ces circuits imprimés sont de plus en plus denses, en vue de réduire les coûts. Se posent également les problèmes de refroidissement dus à la densification des éléments qui provoquent une évolution continue des matériaux et des technologies.

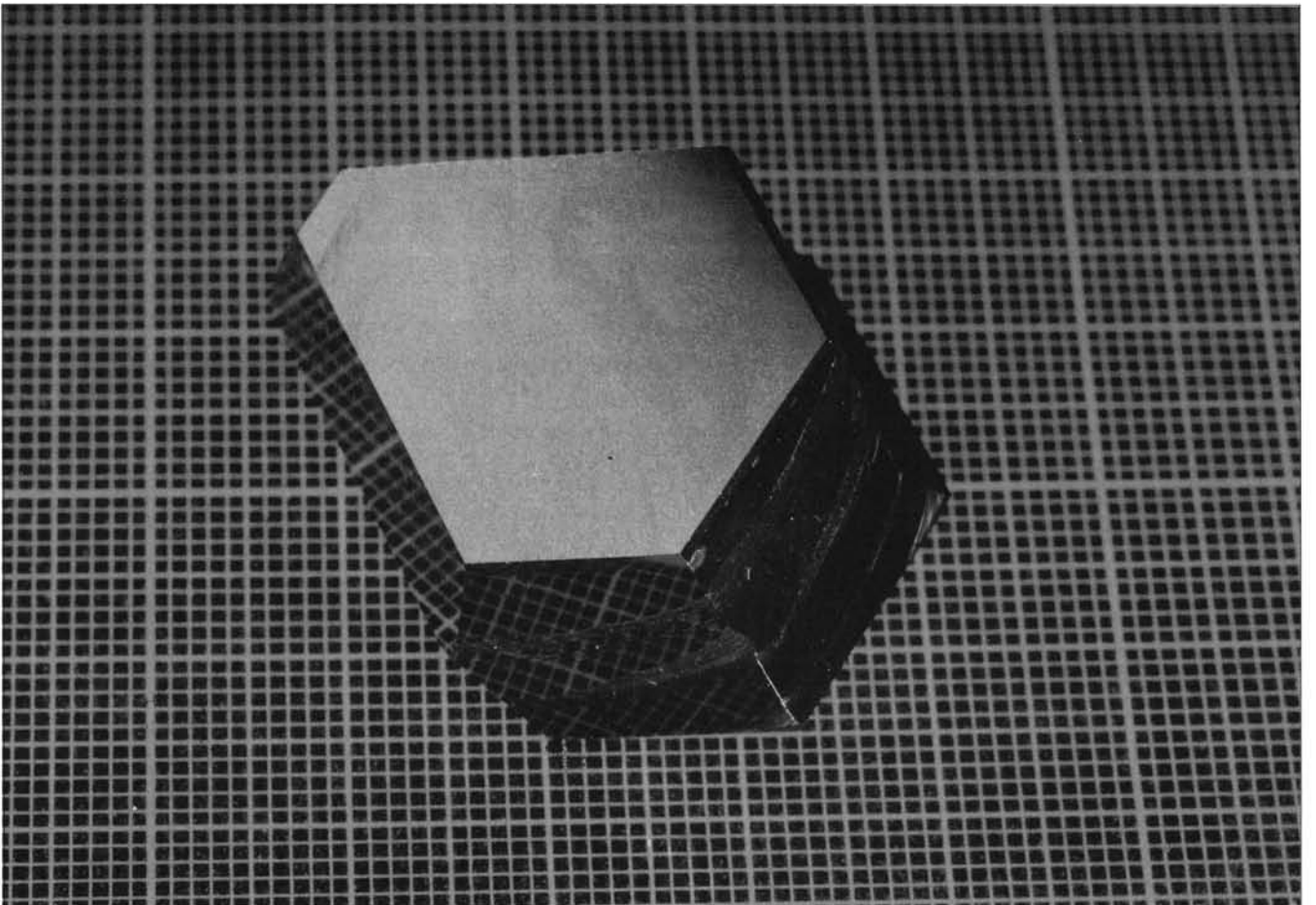
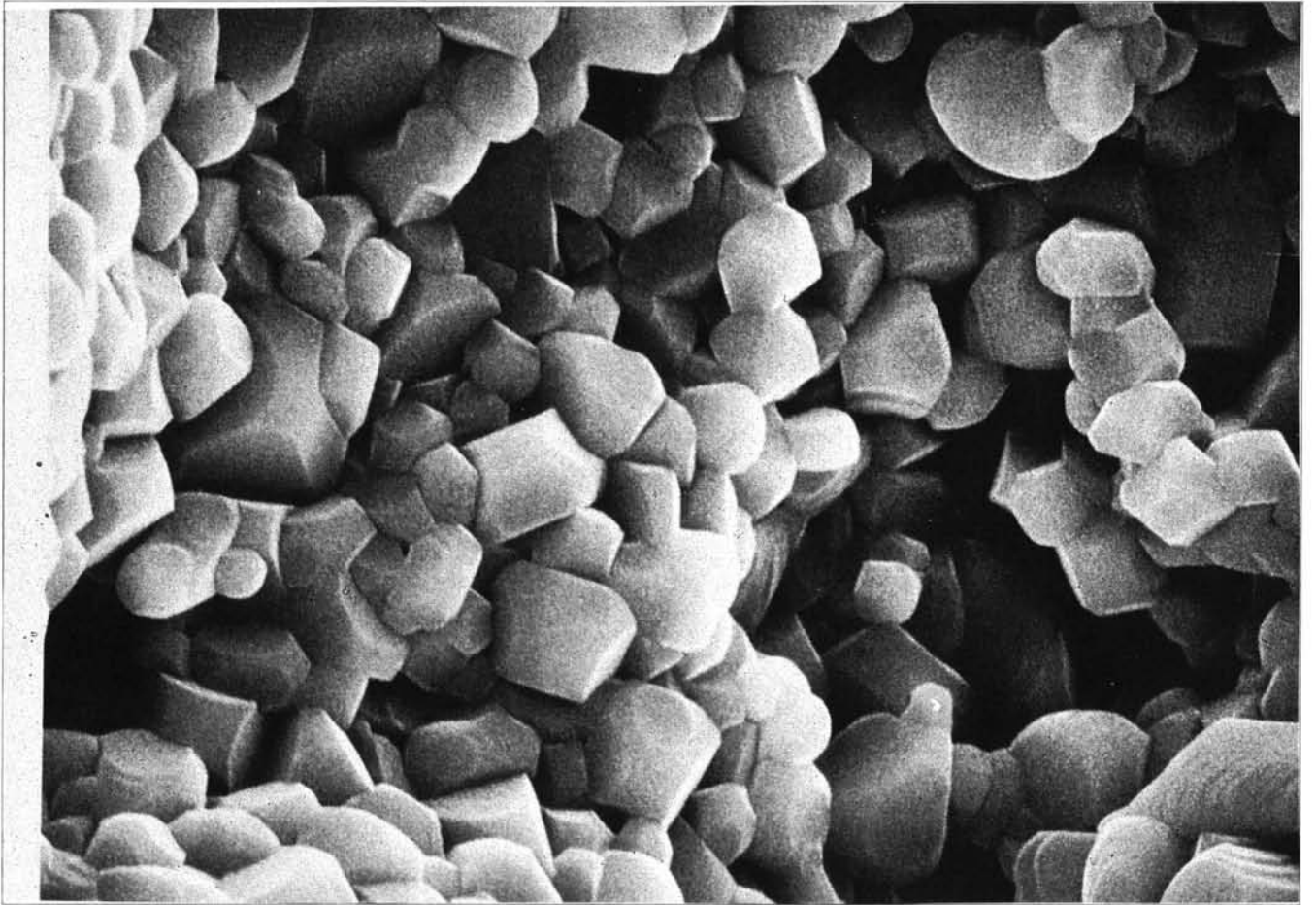
### **Céramiques et polymères**

On estime que, dans un proche avenir, les limitations en capacité de traitement du signal, pour certains équipements, viendront moins des capacités des circuits intégrés, processeurs ou mémoires, que des techniques d'interconnexion telles qu'elles sont mises en œuvre actuellement.

Les circuits hybrides, destinés également à la « connectique » des différents composants, utilisent essentiellement des substrats et des pâtes céramiques (tableau IV). Le marché des matériaux pour hybrides et des boîtiers céramiques représente en 1989 1,2 milliard de dollars, auxquels il faut ajouter les produits nécessaires à leur fabrication (pâtes céramiques et métaux), soit environ 0,2 milliard de dollars. Les taux de croissance prévus sont importants (de l'ordre de 15 %). Le marché des matériaux pour condensateurs céramiques est presque aussi important, avec 1,8 milliard de dollars et un taux de croissance de l'ordre de 10 %. Viennent ensuite les céramiques piézo-électriques (1 milliard de dollars) puis les capteurs de gaz

---

*En haut, photographie d'une structure d'une céramique ferroélectrique (perovskite de plomb PMN). Ces céramiques présentent des permittivités diélectriques atteignant 20 000, ce qui est intéressant pour fabriquer des condensateurs. (Doc. Thomson). En dessous, monocristal d'héxaferrite de baryum. Les ferrites sont utilisées dans divers composants tels que les circulateurs pour radars. (Cl.J. Pierre/Thomson).*



(0,2 milliard de dollars). Les ferrites sont utilisés par exemple dans les bagues pour tube télévision ou les alimentations à découpage, et représentent un chiffre d'affaires de 0,7 milliard de dollars. On attend pour les céramiques destinées à l'électronique un taux de croissance important, de l'ordre de 10 %, à dollar constant, sur un marché global de l'ordre de 6 milliards de dollars.

A côté des céramiques, l'industrie électronique utilise des matières plastiques de commodité pour la présentation des appareils (châssis, boîtiers) ou encore pour isoler thermiquement (réfrigérateur) ou pour insonoriser. L'industrie électronique utilise également des polymères spécifiques. Ces derniers concernent les isolants utilisés dans différents composants sous différentes formes. Une croissance du marché de l'ordre de 10 % par an est prévue pour ces produits.

Certains de ces polymères spécifiques nous ont permis d'obtenir des avantages décisifs dans nos équipements. C'est le cas du PVDF (polyfluorure de vinylidène), polymère piézo-électrique qui permet de réaliser des hydrophones très performants de grandes dimensions pour le nouveau sous-marin.

### ***De l'électronique à l'optoélectronique***

L'utilisation de la lumière comme vecteur de l'information, en remplacement de l'électron, permet de gagner encore dans la vitesse de transmission et de traitement du signal. Les systèmes optoélectroniques ont largement dépassé les 12 milliards de dollars en 1989. Ce sont surtout les transmissions par fibres optiques utilisant des diodes laser qui retiennent l'attention, ainsi que le développement du disque audio-digital (disque compact).

Des besoins existent pour des fibres optiques spécifiques dans plusieurs systèmes de défense, par exemple le fibro-guidage des torpilles ou des missiles. Le marché mondial des fibres optiques était de 0,5 milliard de dollars en 1986, avec prévision d'un chiffre d'affaires de 2 milliards de dollars en 1990 en progression importante. L'émission utilise des diodes laser telles que le laser DFB de Thomson à 1,3 ou 1,55  $\mu\text{m}$  fabriqué avec des organo-métalliques. Le marché des semi-conducteurs pour l'optoélectronique prévu en 1990 est de l'ordre de 2,2 milliards de dollars (dont 100 millions pour les matériaux).

D'autres systèmes optoélectroniques tels que le disque optique numérique audio ou vidéo utilisent des polymères de haute pureté et de grande transparence (le polycarbonate). Le marché « audio » est en croissance rapide, avec un marché de l'ordre de 2 milliards de dollars en 1989, dont 100 millions pour le polycarbonate environ.

### ***Matériaux pour visualisation – tube cathodique***

Thomson participe activement à la mise en place de la télévision haute définition par le biais des programmes HDTV, Eurêka et ACTV.

Actuellement, Thomson travaille sur les téléviseurs de la prochaine génération, en développant notamment la technologie des cristaux liquides pour les écrans plats, la

téléprojection et les tubes cathodiques de haute définition. C'est d'ailleurs le tube cathodique qui représente de loin le chiffre d'affaires le plus important dans ce domaine, avec 6 milliards de dollars en 1988, pour 109 millions de tubes et un taux de croissance prévu de 5 % (tableau VI).

Les matériaux pour tube cathodique (verre, shadow mask, luminophores) représentent environ la moitié de ce marché, avec 3,3 milliards de dollars (tableau VII). Les recherches sur les nouveaux tubes concernant une meilleure résolution et un meilleur contraste exigent également de meilleurs matériaux cathodoluminescents. L'avènement de la TVHD rend nécessaire, là aussi, la mise au point de nouveaux composants plus rapides et plus denses pour le traitement du signal vidéo.

### ***Les médias magnétiques*** (tableau V)

Les magnétoscopes et les magnétophones sont de grands consommateurs de bandes magnétiques. L'ensemble du chiffre d'affaires pour les médias magnétiques (bande magnétique audio et vidéo, floppy disks et disques durs) est de l'ordre de 9,1 milliards de dollars. Pour les fabrications de bandes magnétiques, on utilise un polymère, des pigments magnétiques et des liants. Le polymère est le PET (polyéthylène glycol téréphtalate), il représente un chiffre d'affaires de l'ordre de 1 milliard de dollars (pour 177 000 tonnes). Les pigments magnétiques représentent 160 millions de dollars (65 000 tonnes) et la résine 17 millions de dollars (17 000 tonnes). Les croissances prévues sont de l'ordre de 16 % par an pour l'ensemble des produits.

### ***Supraconducteurs***

La découverte de céramiques supraconductrices à des températures de plus en plus élevées (90°K - 120°K) est une véritable révolution technique. Les produits à base d'oxydes métalliques (yttrium, baryum, cuivre) permettent d'obtenir une résistance nulle à la température de l'azote liquide. Résistance nulle, cela signifie : pas de pertes d'énergie, donc pas d'échauffement dans les lignes pour transmission de courant. Mais il n'y a pas que des applications dans le domaine du transport d'énergie, il y a aussi des applications potentielles très importantes en électronique. Il sera sans doute possible de bâtir une électronique beaucoup plus rapide que l'électronique actuelle si l'on arrive à améliorer certaines propriétés. Les applications potentielles en hyperfréquence et dans le domaine des capteurs sont aussi très importantes. Par exemple, nous avons réalisé avec ces nouveaux supraconducteurs un magnétomètre très sensible.

### ***Absorbants***

Malgré la qualité des équipements, il est maintenant possible de diminuer la visibilité radar d'un avion. L'avion « furtif » devient une réalité, et la signature radar (SER) d'un bombardier devient équivalente à celle d'un oiseau. Pour obtenir ce résultat, il faut adapter la forme de l'avion, mais

cela ne suffit pas, il faut aussi le recouvrir d'un absorbant micro-onde. Thomson a mis au point un certain nombre d'absorbants à base de ferrites ou de polymères conducteurs qui permettent de diminuer la SER des véhicules. Il existe également un marché civil pour ces produits (protection contre les interférences électromagnétiques, blindeage).

## LES TENDANCES DU FUTUR

### **Traitement de l'information**

L'évolution technologique amorcée depuis plusieurs années va s'amplifier : augmentation des performances, c'est-à-dire rapidité de traitement du signal, augmentation des capacités de mémoire des composants à semi-conducteurs. Cette évolution va se faire dans les deux domaines de la réduction de taille et de l'adaptation continue des matériaux semi-conducteurs. La participation de nouveaux semi-conducteurs, résultant de l'association ou de la combinaison du silicium avec d'autres éléments, permettra d'obtenir de nouvelles performances. L'association de ces éléments en couches très minces, c'est-à-dire à l'échelle de quelques atomes, permettra d'ailleurs d'obtenir une nouvelle génération de composants « quantiques ». Peut-être les semi-conducteurs organiques permettront-ils des réalisations complètement différentes. L'augmentation de densité des composants pourra aussi être obtenue par les associations tridimensionnelles.

Dans tous ces domaines, les nouvelles technologies liées aux nouveaux matériaux et à la chimie ont un grand rôle à jouer.

### **Enregistrement**

La puissance des grands équipements de demain ou des équipements de l'électronique grand public dépendra de la qualité des systèmes d'enregistrement. Ici aussi, l'enregistrement des données évolue vers des densités et une vitesse d'accès de plus en plus grandes. On peut prévoir l'avènement de moyens de stockage dans lesquels les matériaux optiques ou magnéto-optiques joueront le rôle principal.

### **Visualisation**

L'avènement de la TVHD n'est qu'une étape de l'évolution des équipements de visualisation. Les technologies actuellement en concurrence ont toutes le même but : l'écran plat de grande taille. L'écran plat de demain sera-t-il en verre ou en plastique ? Utilisera-t-il la projection ? Rien n'est encore joué. Les matériaux auront ici le rôle important, en donnant résolution et contraste pour une image de très grande qualité.

### **Optoélectronique**

L'optique et l'optoélectronique vont jouer un très grand rôle dans tous nos équipements. Les nouveaux

matériaux vont permettre un grand développement de nouvelles sources de lumière telles que les lasers solides. Les grandes sources de puissance lumineuse que sont les lasers chimiques participeront sans doute aux différents équipements ou systèmes d'armes. Dès maintenant apparaissent des matériaux complètement différents des matériaux traditionnels pour le traitement du signal et la photonique.

Plus vite, plus loin... les calculateurs de nos systèmes de demain seront-ils entièrement optiques ?

## CONCLUSION

Dépendants de l'interface électronique chimie, les produits de spécialité doivent être très bien adaptés au marché de l'électronique, ce qui suppose une collaboration étroite entre le chimiste et l'électronicien (quelquefois le chimiste va jusqu'à faire une partie du composant).

Voici quelques exemples des sociétés qui se diversifient dans les produits de spécialité pour l'électronique : Du Pont (pâtes céramiques, encres, polymères), Hoechst, Degussa, BASF (bandes magnétiques), Kyocera (céramiques, boîtiers, condensateurs), Rhône-Poulenc (terres rares), etc.

D'autre part, certains groupes d'électronique possèdent un département de produits de spécialité, pas seulement pour leur marché captif. Par exemple Hitachi Chemicals, GE Plastics (polycarbonate), Toshiba, Philips (luminophores).

Certaines sociétés japonaises prennent une part très importante du marché, particulièrement dans le domaine des céramiques : Kyocera, NTK, Nitto, Mitsubishi Rolled Copper.

L'électronique a besoin des matériaux et des produits de grande pureté fournis par l'industrie chimique. Ces produits sont de plus en plus faits sur mesure pour les équipements de l'électronique à qui ils confèrent performances et qualités.

D'ailleurs, bien des grands de la chimie ont pris une orientation résolument tournée vers ces produits de spécialité pour l'électronique.

Fig 1 : Le domaine de la chimie dans l'électronique

- **Substrats pour semi-conducteurs et circuits intégrés :**  
Si, GaAs, InP
- **Produits de gravure et traitements de surface :**  
solvants, dépôts électrolytiques, gaz pour gravure plasma, organo-métalliques
- **Polymères spécifiques et non spécifiques :**  
composites pour circuits imprimés, résines pour lithographie, encapsulation, conducteurs...
- **Petites molécules :**  
cristaux liquides, matériaux non linéaires pour l'optique, diélectriques liquides...
- **Céramiques :**  
Supports, ferrites, diélectriques pour condensateurs...

Fig. 2 : Evolution de l'intégration dans les circuits intégrés (source EIAJ)

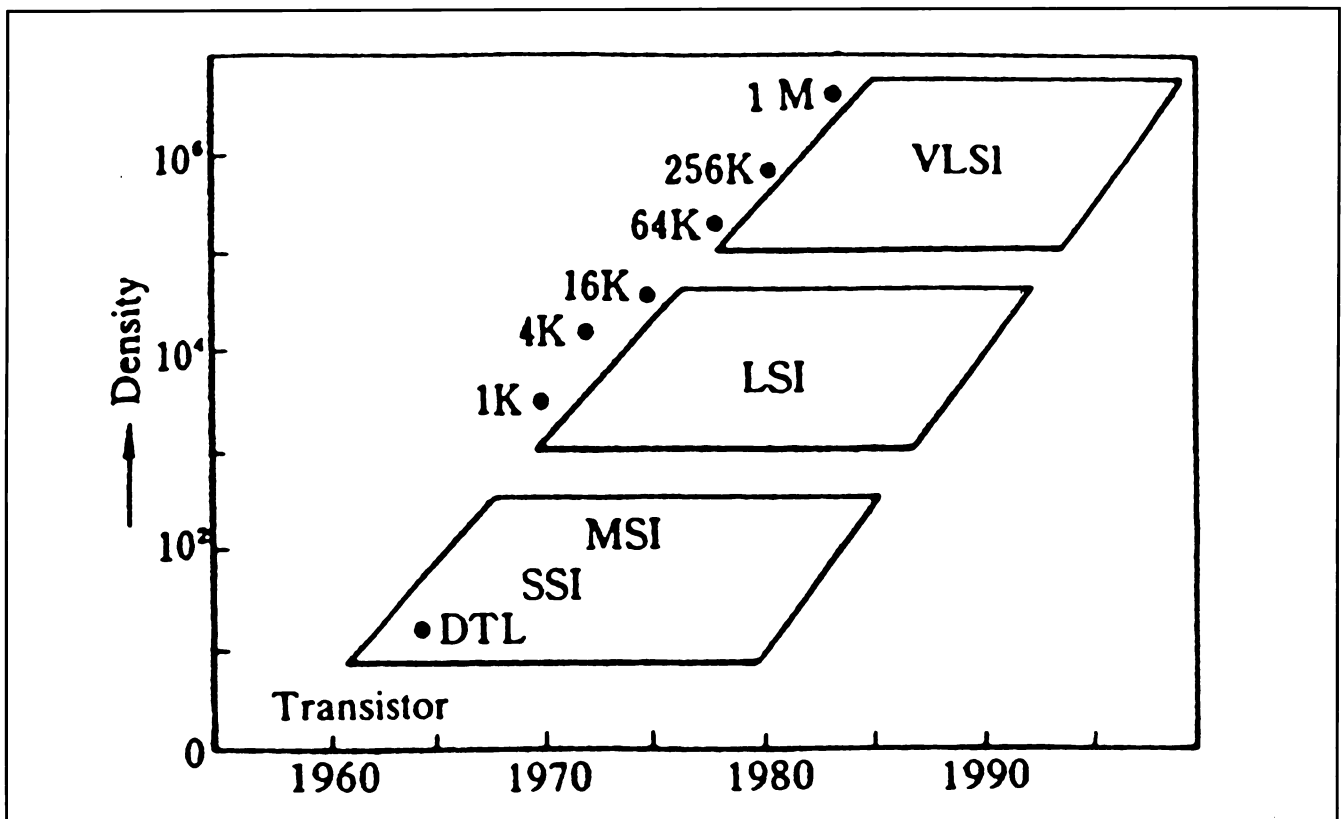


Tableau I : Matériaux pour fabrication des semi-conducteurs (SEMI Forecast Conf., Munich 1988), (milliards de dollars -valeurs hors pays de l'Est).

1989	
<i>Silicium</i>	1,67
<i>AsGa - III-V</i>	0,19
<i>Photomask</i>	1,04
<i>Photoresists</i>	0,22
<i>Produits liquides</i>	0,39
<i>Gaz</i>	0,54
<i>Matériaux de dépôt</i>	0,21
<b>Total</b>	<b>4,26</b>

Tableau 4 : Matériaux céramiques pour l'électronique Monde (milliards de dollars).

1989	
<i>Boîtiers céramiques</i>	1,00
<i>Pâtes céramiques</i>	0,22
<i>Cedip</i>	0,37
<i>Substrats et hybrides</i>	0,23
<i>Condensateurs</i>	2,05
<i>Céramiques piézo-électriques</i>	1,10
<i>Ferrites</i>	0,75
<b>Total</b>	<b>5,72</b>

Tableau II : « Packaging » hors céramiques Monde 1986 (milliards de dollars).

1989	
<i>Lead Frames (grilles)</i>	1,00
<i>Fils de métal</i>	0,32
<i>Boîtiers de métal</i>	0,11
<i>Produits de scellement</i>	0,18
<i>Adbésifs</i>	0,08
<i>Autres</i>	0,19
<b>Total</b>	<b>1,88</b>

Tableau V : Matériaux pour médias magnétiques (estimation MMIS, 1988).

	Valeur (millions de dollars)	Consommation (milliers de tonnes)
<i>Films PET</i>	177	1030
<i>Pigments</i>	65	162
<i>Résine</i>	17	100

Tableau VI : Le marché mondial de la visualisation (selon Stanford resources Inc.), (milliards de dollars).

Technologies - 1989	
<i>Tubes cathodiques</i>	6,37
<i>Ecrans LED</i>	0,27
<i>Plasma</i>	0,30
<i>Ecrans VFD</i>	0,49
<i>Cristaux liquides</i>	1,37
<i>Autres</i>	0,08
<b>Total</b>	<b>8,88</b>

Tableau III : Circuits imprimés (chiffre d'affaires : 10 milliards de dollars).

Chimie et matériaux pour circuits imprimés - 1989		
	croissance en %	
<i>Substrats</i>	3,3	10
<i>Photoresists</i>	0,6	20
<i>Protection</i>	0,2	10
<i>Agents de gravure et divers</i>	0,6	10
<b>Total</b>	<b>4,7</b>	

Tableau VII : Matériaux pour tubes cathodiques.

1989	
<i>CA tubes cathodiques</i> (milliards de dollars)	6,37
<i>Verre (millions de dollars)</i>	3,41
<i>Luminophores</i>	0,10
<i>Shadow mask</i>	0,22
<b>Total matériaux</b>	<b>3,72</b>