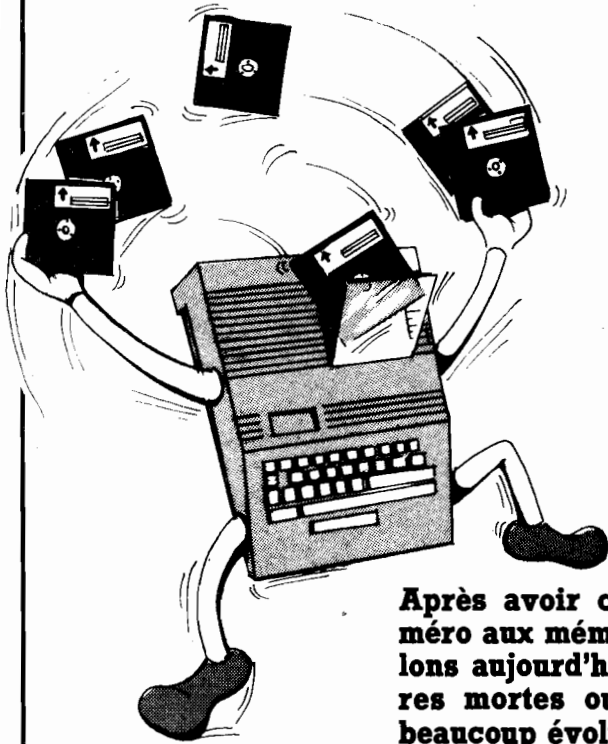


L'ABC DE LA MICRO-INFORMATIQUE



LES MEMOIRES

LES ROM

Bien que ce nom générique recouvre théoriquement toutes les mémoires dont nous allons parler aujourd'hui, puisqu'il désigne les mémoires dans lesquelles il n'est pas possible d'écrire, le terme ROM est en général employé uniquement pour les mémoires mortes programmables par masque. Des dérivés (PROM, EAROM, UVPRM) dont nous parlerons dans un instant ont été définis pour mieux caractériser les autres types de mémoires mortes.

Les ROM programmées par masque sont des mémoires dont le contenu est défini, lors de la fabrication même du circuit intégré, par des présences ou absences de dépôts métalliques au niveau de chaque bit à mémoriser. Ce contenu est donc vraiment figé une fois pour toutes et, sauf destruction du circuit, n'est

Après avoir consacré notre précédent numéro aux mémoires vives ou RAM, nous allons aujourd'hui vous présenter les mémoires mortes ou ROM. Ces produits ayant beaucoup évolué ces dernières années avec leurs dérivés immédiats que sont les PAL, les PAL UV et les LCA, nous ferons une petite digression sur ces sujets afin de vous offrir une information « up to date », comme disent les Américains.

pas susceptible de se modifier dans le temps.

Ces métallisations sont établies par le fabricant en fonction des données que vous voulez placer dans la mémoire et sont en fait inscrites sur le masque de fabrication du circuit intégré. Pour utiliser une comparaison avec des pratiques que vous connaissez bien, ce masque est assimilable à un film de circuit imprimé sur lequel vous définissez des pistes qui sont ensuite gravées sur le circuit lors de son insolation. Le masque d'un circuit intégré est aussi un film, mais de très haute précision puisqu'il sert à produire des tracés qui ne font que quelques microns. Il coûte donc fort cher et ne peut

être amorti que si un très grand nombre de pièces identiques sont ensuite produites (le prix du masque étant réparti sur le nombre de pièces). Les ROM programmées par masque sont donc réservées aux produits fabriqués en très grande série : électroménager, HiFi et vidéo, et plus généralement tout produit grand public de grande diffusion.

Vous êtes alors en droit de vous demander pourquoi l'on s'échine à faire des ROM programmées par masque alors que nous vous avons laissé pressentir l'existence d'autres produits. La réponse tient en deux raisons essentielles :

– Les ROM programmées par masque sont celles offrant la plus forte capacité mémoire

(encore que les dernières UV-PROM commercialisées commencent à les rejoindre).

– Si elles sont produites en très grande série, leur prix de revient est très nettement inférieur à celui des autres types de ROM.

Pour fixer les idées, sachez que l'on sait faire à l'heure actuelle des ROM programmées par masque de 128 Ko (1 M-bit). De tels boîtiers sont évidemment réalisés en technologie MOS (NMOS généralement) afin de conserver une dissipation thermique raisonnable. Les temps d'accès sont néanmoins corrects puisque des valeurs de l'ordre de 200 ns sont facilement atteintes.

LES PROM

Officiellement, le terme PROM signifie Programmable Read Only Memory, c'est-à-dire mémoire morte programmable. En fait, cette définition cache un sous-entendu qui est « programmable par l'utilisateur ». Une PROM est donc une ROM que vous pouvez programmer vous-même, grâce bien sûr à un appareil adéquat, mais dont le coût est

sans commune mesure avec des frais de développement de masque.

Cette programmation peut être définitive – c'est le cas des PROM dont nous allons parler maintenant –, ou temporaire ce sera le cas des REPROM ou UVPROM ou EAROM que nous présenterons dans un moment. Dernière précision, une PROM non programmée est dite vierge.

Contrairement aux ROM programmées par masques, les PROM classiques sont des circuits bipolaires dont le plan mémoire peut, en première approximation, être assimilé à une matrice de diodes telle celle représentée figure 1. Dans une telle structure, si l'on applique des 1 logiques sur les lignes, on retrouve des 1 logiques sur les colonnes. Si, maintenant, on enlève des diodes en certains endroits de la matrice, on ne trouvera plus les mêmes signaux sur les colonnes. On aura donc programmé des valeurs dans ce curieux plan mémoire.

Dans la pratique, chaque diode est en série avec un fusible (à l'échelle du circuit intégré, bien sûr), et la programmation de la PROM consiste à faire sauter les fusibles aux emplacements que l'on souhaite programmer. Cette rupture de fusible est réelle et a une existence physique sur le circuit intégré (ou fait fondre une métallisation); elle est donc irréversible, volontairement ou involontairement.

De ce fait, les PROM, encore appelées PROM fusibles en raison de leur technologie, sont bel et bien programmables par l'utilisateur, mais une fois et une fois seulement. Du fait de l'irréversibilité du processus, elles sont ensuite assimilables à des ROM, et leur contenu ne peut subir aucune altération dans le temps. Attention toutefois à ne pas commettre d'erreur. La programmation (de 1 ou de 0, cela dépend du type de la

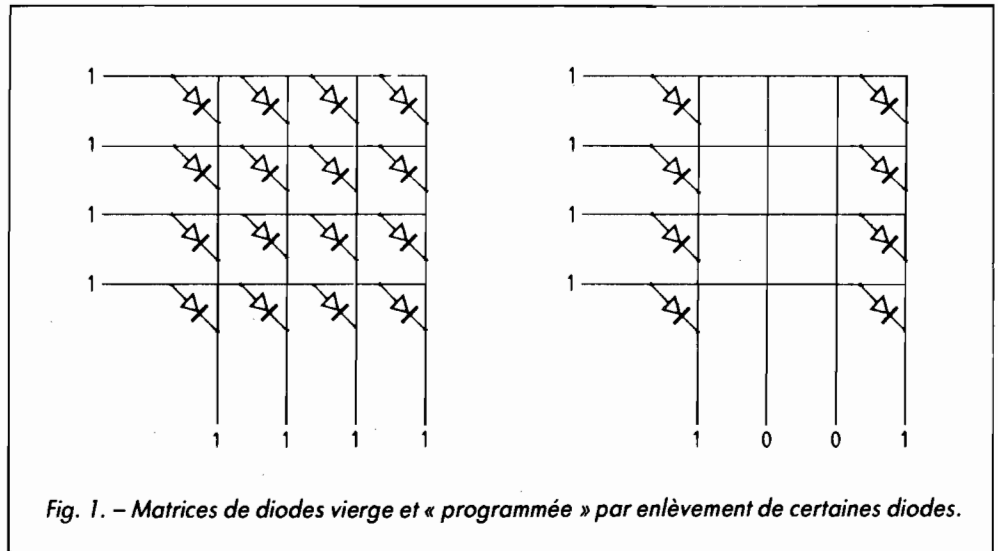


Fig. 1. – Matrices de diodes vierge et « programmée » par enlèvement de certaines diodes.

mémoire) consiste à faire sauter un certain nombre de fusibles, nous venons de le dire, et il n'est pas possible de revenir en arrière, pour corriger une erreur par exemple, mais rien n'interdit, dans une phase de programmation suivante, de faire sauter des fusibles qui n'avaient pas encore été touchés. Cela peut rendre des services, en phase de mise au point d'un matériel par exemple, mais c'est tout de même une pratique assez rare.

La majorité des PROM fusibles sont des circuits logiques compatibles TTL et sont donc alimentés sous une tension unique de 5 V; en phase de programmation, par contre, une énergie plus importante est nécessaire pour faire fondre les fusibles; une « haute tension » de 12 V doit alors être utilisée. Vous concevez bien que ces destructions de fusibles doivent dégager pas mal de calories et, pour ne pas détruire la mémoire, il faut respecter scrupuleusement les chronogrammes de programmation indiqués par les fabricants. C'est le cas de tous les programmeurs de PROM dignes de ce nom.

Ces PROM existent chez de nombreux fabricants, dont les plus célèbres sont Harris, MMI (Monolithic Memory Incorpora-

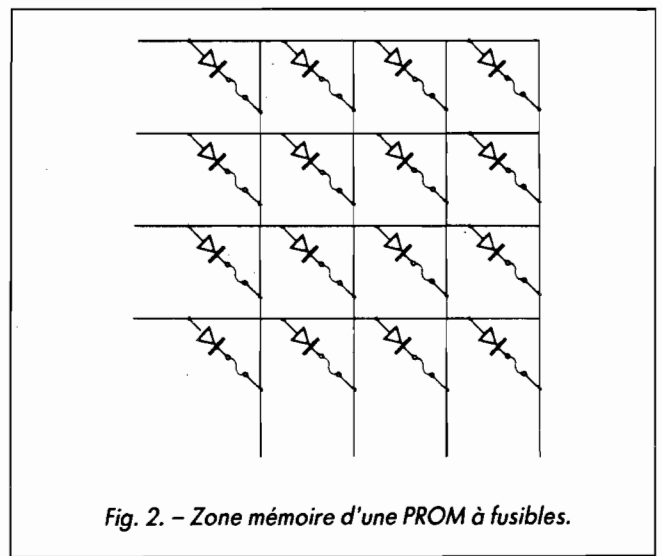


Fig. 2. – Zone mémoire d'une PROM à fusibles.

ted) et Texas. Un certain nombre de configurations standard sont disponibles, existent chez ces différents constructeurs et sont compatibles broche à broche en lecture. En programmation, par contre, les chronogrammes et processus sont parfois nettement différents, et il faut toujours utiliser sur le programmeur la référence exacte de la mémoire pour sélectionner sa programmation.

Du fait de leur réalisation en technologie bipolaire, les PROM fusibles sont des boî-

tiers qui dissipent pas mal de calories, et leur taille est donc de ce fait limitée. Les valeurs courantes varient, à l'heure actuelle, de 32 mots de 8 bits pour les plus petites à 8 K-mots de 8 bits pour les plus gros boîtiers.

Les PROM bipolaires présentent de nombreux avantages, dont les principaux sont :

- la possibilité de programmation par l'utilisateur avec des appareils relativement peu coûteux ;
- la rapidité de l'opération de programmation, qui ne

de quelques dizaines de secondes ;

- la parfaite stabilité du contenu de la mémoire dans le temps ;
- le très grand choix de configurations proposé par les fabricants et les compatibilités en lecture entre les diverses marques ;
- le temps d'accès qui peut être très faible (20 à 30 ns pour les plus rapides) puisque ces PROM sont des circuits bipolaires.

En contrepartie, certaines limitations restent à noter avec :

- la forte dissipation calorique de ces boîtiers, surtout sur les fortes capacités ;
- le prix élevé des PROM de grande taille ;
- la non-compatibilité en programmation entre les fabricants.

Malgré cela, la balance reste très largement positive, et ces mémoires sont de plus en plus employées, non seulement en tant que telles mais aussi de plus en plus souvent pour remplacer des circuits logiques classiques dans des applications telles que le décodage d'adresses dans les systèmes à microprocesseurs ou générateurs de signaux logiques complexes.

LES UVPROM

Lors de la mise au point de n'importe quel système comportant un microprocesseur, passé le stade de la simulation ou du développement sur système spécialisé, il faut arriver à la phase d'intégration du logiciel, qui consiste à le mettre en mémoire morte et à tenter ensuite de faire fonctionner le montage. Avant que les UVPROM ne soient inventées, cela se traduisait souvent par un gaspillage considérable de PROM fusibles car il était rare (il est toujours rare, d'ailleurs) que le programme placé en mémoire morte fonctionne parfaitement bien du premier coup (et même du deuxième !).

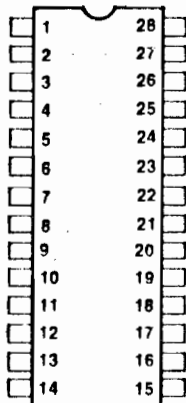
Pour remédier à cela sont arrivées les UVPROM, ou PROM effaçables aux ultraviolets. Ces mémoires ont connu le développement que l'on sait et sont maintenant omniprésentes dans tout système micro-informatique, au détriment parfois de la fiabilité dans le temps. Nous y reviendrons. Si vous avez un tant soit peu regardé des cartes micro-informatiques, vous avez certainement un jour ou l'autre remarqué ces boîtiers

munis d'une fenêtre transparente sous laquelle on peut voir la puce de silicium. Petite parenthèse en passant : si vous avez un microscope à faible grossissement, jetez un coup d'œil au travers de la fenêtre, vous verrez ce qu'est réellement un circuit intégré ! Ces mémoires sont des PROM, car l'utilisateur peut les programmer lui-même au moyen d'un montage adéquat mais, contrairement aux PROM fusibles, cette programmation se traduit par une accumulation de charges électriques en des points particuliers de la mémoire (grilles de transistors MOS) ; il n'y a donc pas d'opération destructrice irréversible. Une fois cette opération effectuée, les UVPROM se comportent comme des ROM, mais il est possible de les rendre à nouveau vierges en exposant leur fenêtre à un rayonnement ultraviolet de longueur d'onde particulière pendant un temps suffisant. Après cette opération, et si elle a été bien conduite, la mémoire est comme neuve et peut être programmée à nouveau. Ces successions de programmations-effacements peuvent être répétées une trentaine de fois avant qu'une

dégradation ne commence à se faire sentir. C'est plus que suffisant pour les applications envisagées.

Cette intervention de la lumière dans le processus d'effacement pouvant sembler très mystérieuse à nombre d'entre vous, nous estimons utile d'en donner la raison, sans toutefois entrer dans les détails de la physique des semi-conducteurs. Les cellules mémoire d'une UVPROM sont constituées par un transistor MOS dont la grille n'est reliée à rien et est isolée par une fine pellicule d'oxyde de silicium. Pour programmer une telle mémoire, on utilise une « haute tension » (25 V, 21 V ou 12,5 V selon les mémoires) qui crée un champ électrique suffisant pour que des électrons franchissent la barrière d'oxyde isolant par effet tunnel et viennent ainsi faire changer d'état les transistors MOS sélectionnés. Pour effacer la mémoire, il faut faire exécuter un chemin inverse aux électrons et, donc, leur fournir à nouveau de l'énergie. C'est là qu'intervient le rayonnement ultraviolet dont l'énergie des photons est communiquée aux électrons pour les aider à franchir la

27256	27128	2764	2732A	2716
V _{PP}	V _{PP}	V _{PP}		
A ₁₂	A ₁₂	A ₁₂		
A ₇	A ₇	A ₇	A ₇	A ₇
A ₆	A ₈	A ₆	A ₆	A ₆
A ₅	A ₅	A ₅	A ₅	A ₅
A ₄	A ₄	A ₄	A ₄	A ₄
A ₃	A ₃	A ₃	A ₃	A ₃
A ₂	A ₂	A ₂	A ₂	A ₂
A ₁	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁
A ₀	A ₀	A ₀	A ₀	A ₀
O ₀	O ₀	O ₀	O ₀	O ₀
O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Gnd	Gnd	Gnd	Gnd	Gnd



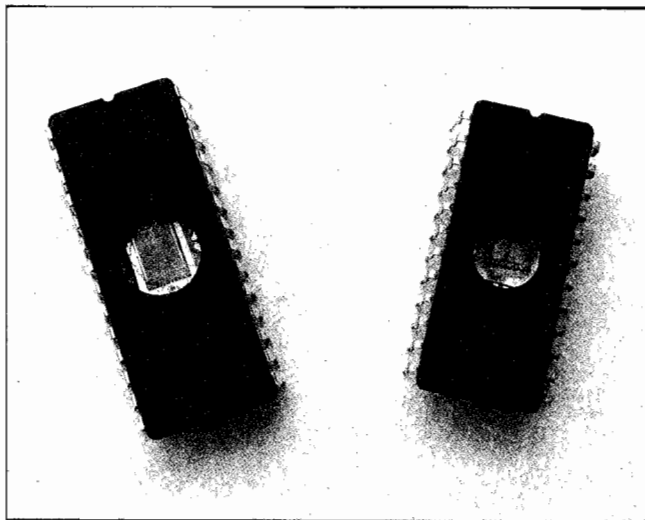
2716	2732A	2764	27128	27256
		V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}
		FGM	FGM	A ₁₄
V _{CC}	V _{CC}	N.C.	A ₁₃	A ₁₃
A ₈	A ₈	A ₈	A ₈	A ₈
A ₉	A ₉	A ₉	A ₉	A ₉
V _{PP}	A ₁₁	A ₁₁	A ₁₁	A ₁₁
OE	OE/V _{PP}	OE	OE	OE
A ₁₀	A ₁₀	A ₁₀	A ₁₀	A ₁₀
CE	CE	CE	CE	CE
O ₇	O ₇	O ₇	O ₇	O ₇
O ₆	O ₆	O ₆	O ₆	O ₆
O ₅	O ₅	O ₅	O ₅	O ₅
O ₄	O ₄	O ₄	O ₄	O ₄
O ₃	O ₃	O ₃	O ₃	O ₃

Fig. 3. Brochages comparés des différentes UVPROM.

barrière d'oxyde en sens inverse. Dans la réalité, c'est un peu plus complexe, bien sûr, mais cela respecte tout de même notre scénario.

Du fait de ce comportement réversible de la mémoire, une UV PROM programmée n'est pas aussi stable dans le temps qu'une ROM ou qu'une PROM fusible, et les fabricants ne s'engagent que pour un temps de stockage de l'information de dix ans à 25 °C ; temps qui tombe à trois ans à 70 °C, ce qui est logique puisque l'agitation moléculaire croît avec la température. Compte tenu de la vocation première de ces mémoires (mise au point de programmes), ce n'est pas gênant. Mais là où il faut se méfier, c'est lorsque ces circuits sont utilisés dans des produits finis, comme c'est le cas sur de nombreux micro-ordinateurs grand public ou semi-professionnels actuels. Théoriquement, un produit fini doit comporter une PROM bipolaire ou une ROM programmée par masque. Tout au plus peut-on admettre l'UV PROM sur les premiers exemplaires vendus, tant que l'on n'est pas certain que le programme est exempt de « bug » et que le fabricant ne veut donc pas lancer une opération de masquage de ROM, vu son coût. La réalité est, hélas ! tout autre. Heureusement que les produits concernés ont, pour l'instant, une durée de vie inférieure à dix ans...

Ces mémoires existent chez de très nombreux fabricants (Hitachi, Fujitsu, Mitsubishi, Toshiba, Intel, Texas, etc.) sous des références qui conservent toutes un noyau commun, ce qui est normal, car, quel que soit le fabricant, les mémoires sont compatibles broche à broche en lecture et en programmation. En outre, les brochages ont évolué, avec la taille des mémoires, en conservant une compatibilité ascendante, ce qui permet actuellement, en mettant un support 28 pattes correcte-



Une 27128 à gauche et une 2716 à droite. La taille des puces n'est pas en rapport avec la capacité mémoire en raison des progrès réalisés en matière d'intégration entre ces deux boîtiers.

ment câblé dans un montage, de pouvoir accepter tous les boîtiers, du 2 K-mots de 8 bits au 64 K-mots de 8 bits. Les références de ces mémoires sont très explicites et sont de la forme 27XX ou 27XXX, où XX et XXX sont la taille de la mémoire en K-bits. Ainsi une 2732 est une 32 K-bits, c'est-à-dire une 4 K-mots de 8 bits ; en effet, ces mémoires ayant vu le jour à l'époque des microprocesseurs 8 bits, elles sont toutes organisées en mots de 8 bits. En ce milieu d'année 1987, on trouve sans problème sur le marché de la 2716 (2 K-mots de 8 bits) à la 27256 (32 K-mots de 8 bits). La 27512 (64 K-mots de 8 bits) existe mais est encore assez peu courante. Quant à la version 1 M-bit, elle vient d'être lancée en production de série et est donc encore d'un prix dissuasif.

Les temps d'accès de ces mémoires varient de 450 ns pour les versions les plus anciennes (2716 et 2732 principalement) à 200 ns pour les versions actuelles (27128 et au-dessus). L'alimentation est évidemment monotension 5 V, sauf en programmation où une « haute

tension » est requise. Cette dernière peut être de 25 V, 21 V ou 12,5 V. Le 25 V ne se rencontre plus que sur les 2716 et les vieilles 2732. Le 21 V se rencontre sur les 2732 actuelles et les vieilles 2764 et 27128. Le 12,5 V se rencontre sur les 2764 et 27128 récentes et sur toutes les mémoires de tailles supérieures. Cette baisse de la haute tension correspond à un progrès dans la technologie de fabrication de ces boîtiers, progrès qui s'accompagne aussi d'un raccourcissement du temps de programmation. En effet, les 2716 et 2732 nécessitent 50 ms par octet (ce qui fait presque 4 minutes pour une 2732 complète). Les vieilles 2764 et 27128 sont dans le même cas, ce qui conduit à des temps prohibitifs (près de 14 minutes pour une 27128). Les nouvelles 2764, 27128 et toutes les mémoires de tailles supérieures supportent par contre un algorithme de programmation dit « rapide » qui permet de ne passer que le temps nécessaire pour chaque octet, et non plus les 50 ms des versions antérieures. En moyenne, un gain de temps

de l'ordre de 4 ou 5 est atteint avec ce procédé.

Pour être complet avec ces notions relatives à la programmation, précisons que les UV PROM peuvent être programmées octet par octet en fonction des besoins. Il n'est nullement nécessaire de programmer toute la mémoire à chaque fois. De plus, ces mémoires contiennent FF dans tous les octets lorsqu'elles sont vierges ; la programmation consiste donc à écrire seulement les bits à 0 puisque les autres sont déjà à 1 d'origine. En cas d'oubli d'écriture d'un ou plusieurs 0 dans un octet, il est possible de reprogrammer ce dernier pour faire ces corrections. L'inverse (passage d'un 0 à 1) est évidemment impossible et ne peut s'obtenir que par effacement de la mémoire, mais, là, il n'est pas question de n'affecter qu'un octet ; la lumière éclaire toute la puce !

La programmation de ces mémoires ne présente aucune difficulté car la standardisation de ces produits et leur très grande diffusion ont conduit d'innombrables fabricants à commercialiser des programmeurs adéquats. Ils peuvent être autonomes ou, très souvent, être constitués par des cartes à incorporer dans des micro-ordinateurs. Les deux solutions se valent pour peu que le matériel et le logiciel soient performants. Les seules précautions à prendre à l'heure actuelle sont de vérifier que le programmeur supporte l'algorithme rapide, et aussi qu'il sait programmer les UV PROM « 12,5 V ».

CONCLUSION

Nous en resterons là pour ce qui est des UV PROM et aborderons, dans notre prochain numéro, la présentation de PROM encore plus originales...

C. TAVERNIER