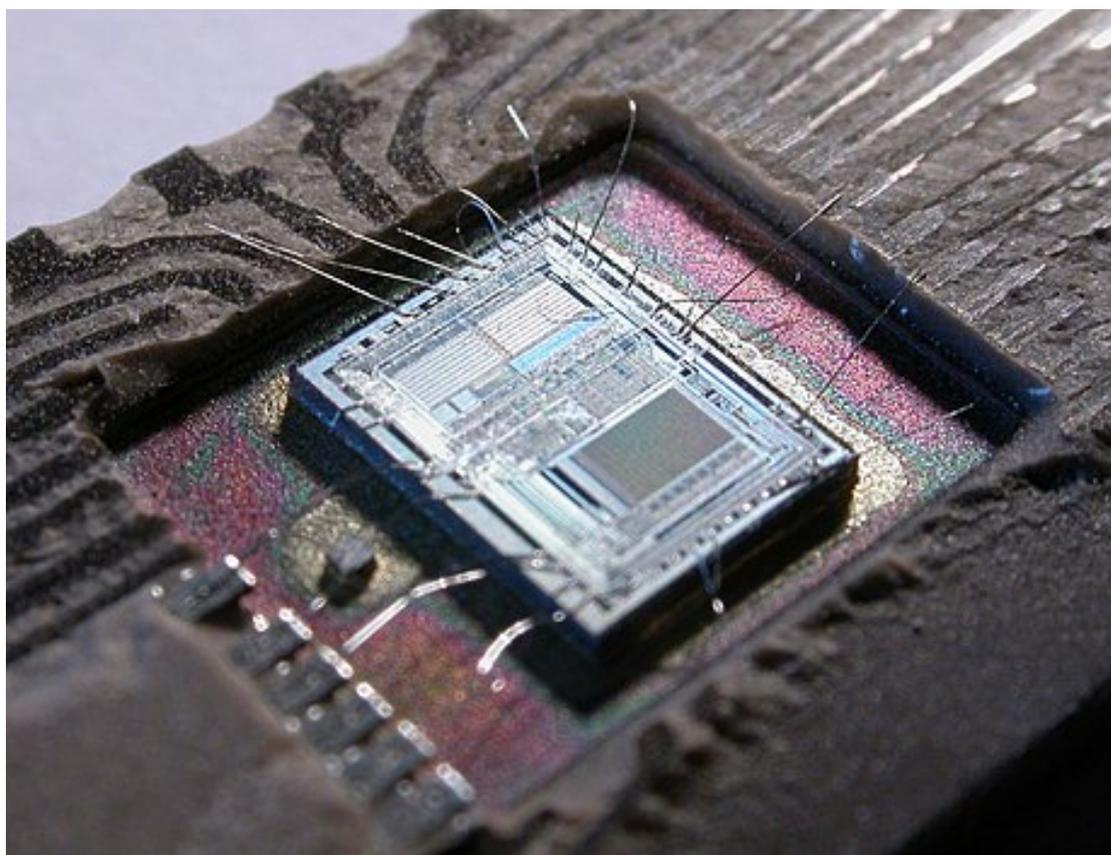


Puces mémoires

Par PERDIGON Théo et SCAFFIDI FONTI Mathis



Sommaire

Différents type de mémoire	2
Mémoire volatile	2
Mémoire morte	2
Constitution d'une mémoire EEPROM	4
Introduction	4
Fonctionnement MOSFET	4
MOSFET à grille flottante (ou FGMOS)	5
Grille flottante	5
Lecture et écriture	5
Type mémoire EEPROM	7
NAND	7
NOR	7
Comparaison	8
Sources	9

- Différents type de mémoire

● Mémoire volatile

Mémoires dans lesquelles on peut lire et écrire des données. Ces mémoires sont volatiles, car leur contenu s'efface (disparaît) si elles ne sont plus alimentées. Elles peuvent être lues et réécrites à volonté. Ce sont les mémoires RAM. Elles sont divisées en deux catégories : la mémoire statique et la mémoire dynamique.

- Statique : se maintient indéfiniment lorsque l'alimentation est présente. Il suffit de maintenir la tension d'alimentation du circuit pour conserver l'information : **SRAM**
- Dynamique : l'information se dégrade au cours du temps. Il faut rafraîchir (écrire à nouveau) l'information stockée pour ne pas la perdre : **DRAM**

● Mémoire morte

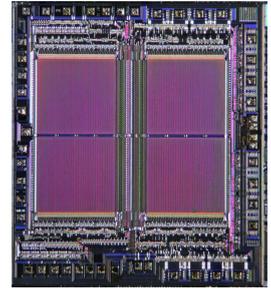
La mémoire morte permet de stocker des données. Elle a la particularité d'être non volatile. C'est-à-dire qu'elle n'efface pas le contenu si l'appareil en question (ordinateur, smartphone, tablette...) est mis hors tension. Ainsi, l'absence d'alimentation électrique n'a aucune incidence sur son stockage. On retrouve plusieurs évolutions :

- **ROM** : Read Only Memory, inventée en 1970, C'est une mémoire à lecture seule. Le stockage de cette mémoire est permanent (programmes et données). Cette puce et ce qu'elle contient sont définis par le fabricant et son contenu ne peut plus être modifié, ni effacé par l'utilisateur, les informations étant définies à la construction.
- **PROM** : Programmable Read Only Memory, inventée en 1970, elle ne peut être programmée qu'une fois. L'écriture s'effectue via un programmeur qui suivant les informations désirant être écrites va faire griller les fusibles par un claquement diélectrique contenues dans la puce pour définir la donnée (fusible grillé = 0; Fusible sains : 1).
- **EPROM** : Erasable Programmable Read Only Memory, inventée en 1971 C'est une mémoire reprogrammable. Le contenu de la mémoire EPROM peut être flashé de nombreuses fois. Le contenu de la mémoire EPROM est effaçable par UV (Ultra-Violet). Pour ce faire, il faut une exposition d'une vingtaine de minutes à un rayonnement UV. Il est impossible de sélectionner un groupe de cellules à effacer, il est



impossible d'effacer la mémoire in-situ¹.

- **EEPROM** : Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, inventée en 1972, Le contenu de la mémoire EEPROM est programmable et effaçable électriquement. Elle est le type de puce mémoire le plus utilisé de nos jours du fait de sa capacité à être réécrite de nombreuses fois. L'avantage de cette mémoire est que l'effacement peut s'effectuer in-situ et par bloc de données et non de l'entièreté de la puce comme l'EPROM.



¹ Dans son milieu naturel

- Constitution d'une mémoire EEPROM

• Introduction

Les puces mémoires depuis leur invention, utilisent comme nous l'avons vu différents procédés pour stocker l'information. Les puces PROM utilisent des fusibles afin de posséder deux états mais cela était définitif. Avec l'EPROM, est arrivée l'utilisation des FG MOS (Floating Gate transistor) afin de stocker l'information et de la modifier. Nous allons détailler le fonctionnement de ce composant (MOSFET puis sa variation FG MOS).

• Fonctionnement MOSFET

Les transistors MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) ou **transistor à effet de champ** est le composant principal des puces mémoires depuis l'EPROM.

Schéma électrique:

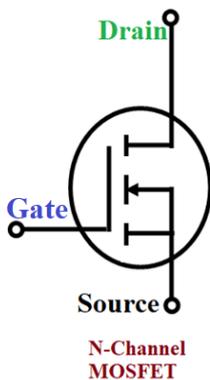
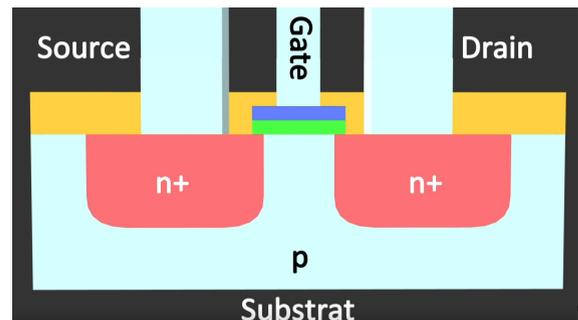
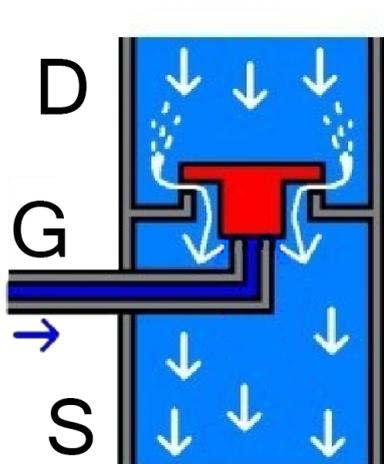


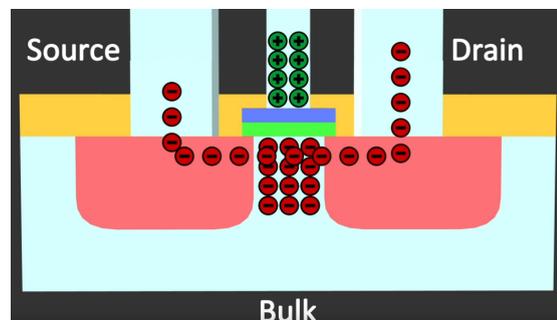
Schéma physique:



Le principe de fonctionnement d'un Transistor peut être représenté par une analogie représentant une irrigation munie d'une valve :



Quand un courant est appliqué à la grille (**G**), celui-ci crée un passage permettant la circulation du courant de la **Source** vers le **Drain**.



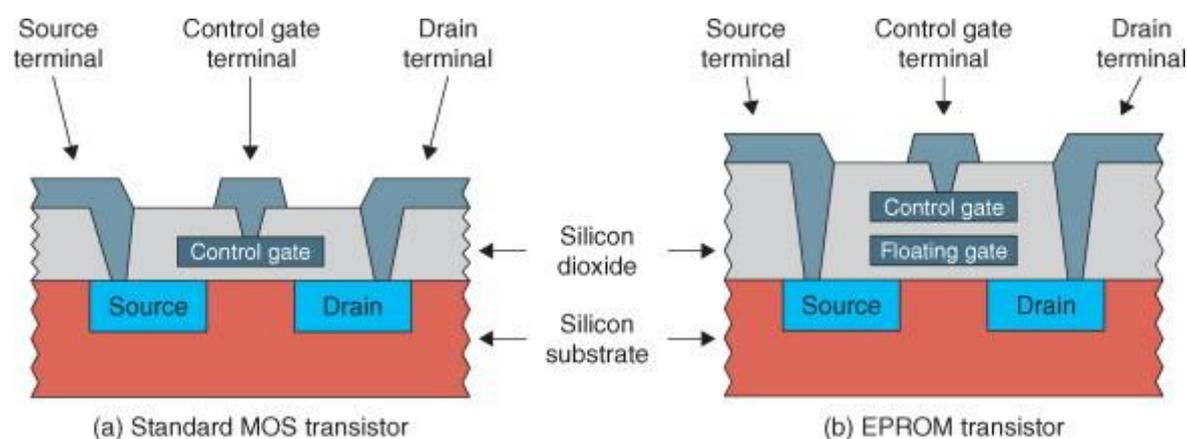
Le MOSFET à la différence d'un transistor classique permet cette circulation via un champ électrique émis par la grille qui attire les électrons créant une zone conductrice.

- **MOSFET à grille flottante (ou FG MOS)**

Grille flottante

Jusqu'ici on a simplement reproduit l'effet transistor mais avec un système différent. Il n'y a pas encore d'effet mémoire.

Pour obtenir un système de mémoire, il faut aller plus loin : il faut ajouter un conducteur entre deux couches d'isolants, comme ceci :



La partie ajoutée est un simple morceau de conducteur. On l'appelle « grille flottante » (floating gate) parce qu'elle est isolée du reste du système. C'est cette grille flottante qui va permettre l'effet mémoire.

Cette grille flottante admet deux états :

- chargée électriquement, en électrons (comme un condensateur).
- non-chargée électriquement (neutre en charge).

Si cette grille flottante est chargée en électrons, cela aura pour effet de repousser les électrons et donc de rendre le transistor bloquant même en présence de courant au niveau de la grille de contrôle (voir schémas ci-dessus). On a donc une grille qui stocke une information même quand le système est hors tension grâce à son isolation du reste du système.

Lecture et écriture

La phase de lecture est assez rapide et plutôt simple : il suffit de voir si le transistor est bloquant ou passant.

En effet, le simple fait de connaître l'état du transistor permet de déduire l'état de la charge sur la grille flottante.

- Le transistor est passant (bit = 1) : la grille est déchargée ;
- Le transistor est bloquant (bit = 0) : la grille est chargée en électrons.

Il reste maintenant à modifier l'état de cette grille flottante afin d'écrire les données. La fonction mémoire est assurée par un composant électrique isolé du reste du circuit. À priori, modifier cette charge n'est pas possible. Pour ça il faut faire appel à la physique quantique et l'effet tunnel. (Pour plus de détails à propos de cet effet, voire [source](#)). Pour résumer le fonctionnement du changement d'état de la grille flottante: on va appliquer une tension importante sur la base, ceci va élever le niveau d'énergie des électrons leur permettant de s'échapper de la grille. Selon le signe de la tension (positive ou négative), les électrons passeront de la grille de contrôle vers la grille flottante (chargement de la grille flottante) ou dans le sens inverse (déchargement), simplement par effet tunnel.

Cette montée en énergie à chaque changement d'état implique que le composant chauffe et se détériore (le point de rupture se situe entre 100.000 et 1.000.000 fois), ce qui explique que les puces mémoires (utilisées dans les ssd et clé usb entre autres) possèdent un cycle de vie limité.

- Type mémoire EEPROM

Comme on l'a indiqué, les SSD et clés USB utilisent des puces mémoires EEPROM plus couramment nommé "Flash". A des fins d'optimisation, deux types de mémoire flash ont été créés : Les mémoires de type NAND et de type NOR.

- **NAND**

Les puces flash sont divisées en segments d'effacement appelés blocs, et les données sont stockées dans ces blocs d'effacement. Dans l'architecture flash NAND, ces blocs sont connectés de manière séquentielle (en série). La taille des blocs d'effacement est comprise entre 8 Ko et 32 Ko, ce qui permet d'accroître les vitesses de lecture, d'écriture et d'effacement et palier au défaut de la NAND. De plus, les périphériques NAND sont connectés à l'aide d'une interface complexe connectée en série et l'interface peut varier d'un fabricant à l'autre. En général, huit broches sont utilisées pour transmettre, contrôler et récupérer les informations de données. En un instant, toutes les huit broches sont utilisées, transférant généralement des données en rafales de 512 Ko.

L'architecture NAND est conçue pour intégrer un maximum de blocs en parallèle (les blocs contenant des cellules monté en série), ce qui permet un compromis entre la capacité d'accès aléatoire aux blocs et une taille de bloc inférieure. Cela rend la mémoire flash NAND moins chère en termes de coût par volume. En théorie, la densité du flash NAND est deux fois supérieure à celle du flash NOR..

La mémoire flash NAND convient aux fins de stockage de données. Les SSD, les cartes SD et les clés USB utilisent des puces NAND comme mémoire.

- **NOR**

La mémoire NOR est le plus ancien des deux types de mémoire flash. Dans la configuration de circuit interne du flash NOR, les cellules de mémoire individuelles sont connectées en parallèle; par conséquent, les données peuvent être consultées dans un ordre aléatoire. En raison de cette capacité d'accès aléatoire, NOR a des temps de lecture très courts lors de la récupération d'informations pour exécution.

La densité des blocs d'effacement dans le flash NOR est inférieure à celle de l'architecture NAND. Par conséquent, le coût par volume est plus élevé. Il consomme également plus d'énergie en mode veille, mais consomme relativement moins d'énergie que le flash NAND. De plus, la vitesse d'écriture et la vitesse d'effacement sont faibles.

Mais l'exécution de code avec NOR est beaucoup plus élevée en raison de la construction d'une architecture à accès aléatoire..

Le NOR est utilisé pour le stockage de code dans des périphériques, tels que l'unité de stockage de code d'appareils photo numériques et d'autres applications intégrées. Elle peut également être utilisée en binôme avec la NAND afin d'optimiser les périphériques tels que les SSD.

- **Comparaison**

NOR	NAND
La NOR est plus ancienne que l'architecture Flash NAND	La flash NAND a une densité de blocs d'effacement beaucoup plus élevée que le flash NOR
Blocs d'effacement connectés en parallèles (Octet par octet)	Blocs d'effacement connectés de manière séquentielle (en série) (bloc par bloc)
Type d'accès aléatoire	Type d'accès séquentiel
Vitesse de lecture rapide	Vitesse de lecture ralenti
Vitesse d'effacement lente	Vitesse d'effacement et d'écriture plus rapide
Peut effectuer entre 10 000 à 100 000 cycles d'effacement	Peut effectuer entre 100 000 et 1 000 000 cycles d'effacement
Convient au stockage de code	Convient au stockage des données
Plus chère en terme de coût par volume	Moins chère en terme de coût par volume

- Sources

<https://www.techmilisme.com/artech/memoire-rom-ram-flash/>

<https://courselectronique.fr/memoire-eprom/>

<https://www.youtube.com/watch?v=-l6OgYoYcko>

<https://couleur-science.eu/?d=b3cf17--comment-fonctionne-la-memoire-flash-dun-lecteur-ssd>

<https://www.lebigdata.fr/memoire-flash-definition>

https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9moire_flash#Technologie

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00009378/document>

<https://qastack.fr/electronics/69234/what-is-the-difference-between-flash-memory-and-eprom>

https://www.researchgate.net/publication/228988996_EEPROM_Failure_Analysis_Methodology_Can_Programmed_Charges_Be_Measured_Directly_by_Electrical_Techniques_of_Scanning_Probe_Microscopy

<https://www.hwlibre.com/fr/Eeprom/>