

Qubit de spin

La conception d'un ordinateur quantique peut se faire avec plusieurs éléments. Cet ordinateur, qui révolutionnerait le monde, pourrait faire des calculs en quelques heures voir des jours, qu'un ordinateur «classique» pourrait faire en plusieurs millions d'années. Le qubit de spin est un exemple de dispositif quantique qui pourrait être la solution à la conception de l'ordinateur quantique. La conception de qubit de spin se fait en plusieurs étapes, dont l'électrolithographie, qui consiste à écrire des motifs dans une résine à l'aide d'un faisceau d'électrons, ainsi que la gravure plasma, qui va venir former les grilles du qubits. Cet article de vulgarisation va discuter de l'informatique quantique en générales et des étapes principales de la conception de qubit dans du silicium polycristallin.

Théorie quantique

Depuis les années 1900, les physiciens ont tenté de comprendre la théorie quantique et essayer de trouver des moyens de l'utiliser. Dans la plupart des sujets de recherches et d'études, la théorie quantique intervient et vient expliquer certaines choses qui étaient autrefois inexplicables. Plusieurs concepts de la mécanique quantique sont très intéressants à comprendre et sont souvent très utiles pour comprendre la théorie quantique. La superposition d'états en est un exemple. Dans la mécanique classique, un objet physique ne peut occuper qu'un seul état possible (c.-à-d. avoir une seule énergie, occuper un seul endroit, etc.). En mécanique quantique, des objets tels que des atomes, des électrons ou des photons(des «quanta» de lumière) peuvent avoir plusieurs états et cela en même temps et aux mêmes endroits. Prenons l'exemple d'un électron et son spin. Le spin étant une caractéristique intrinsèque de certaines particules, c'est une quantité qui peut être observée ou mesurée. Selon la mécanique quantique, un électron peut avoir les deux spins en même temps, jusqu'à ce qu'on observe son spin, comme le chat de Erwin Schrödinger. Ainsi, après avoir mesuré l'état du spin, l'électron n'est plus en superposition d'états comme il l'était juste avant de le mesurer.

Bit

Qu'est-ce qu'un Qubit ou « bit quantique »? Avant de répondre à cette question qui peut être très compliquée à expliquer, il peut être intéressant de savoir ce qu'est un bit classique. En informatique, un bit est une unité binaire, prenant la valeur de « 0 » ou « 1 » et est à la base de toute information qui est « stocker » dans un ordinateur. Avec une grande suite de bit, il est possible d'écrire un livre ou même de créer un jeu vidéo. Ainsi, puisque les bits ne peuvent prendre qu'une seule des valeurs « 0 » ou « 1 », 1 bit donne 2 possibilités, 2 bits en donnent 4 et 3 bits en donnent 8. Ainsi, un système quelconque possédant n bit possèdent au total 2^n possibilités différentes.

Informatique quantique

Comme dit plutôt, un bit possède 2 possibilités donnant un total de 2^n possibilité. Pour un système de qubit, le système d'équations décrivant 1 qubit est plutôt dénoté comme étant : $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. À cause de la superposition d'états, l'état « 0 » et « 1 » sont tous les deux possibles avec des probabilités α et β respectivement. Ainsi, comme les bits, 1 qubit peut donner deux possibilités, mais dans le cas des qubits, il a les deux états en même temps contrairement à l'un ou l'autre comme dans le cas classique. Pour un système de 100 bits, il y aura donc 10^{30} possibilité différente. Si 1 calcul prend 1 seconde à faire avec les 100 bits, on pourra avoir l'ensemble des possibilités après 10^{30} secondes. Avec des qubits, à cause du principe de superposition d'états, on pourrait, théoriquement, avoir l'ensemble des possibilités à partir de 1 seconde.

Conception de Qubit

Il existe plusieurs façons de confectionner des qubits ou des boîtes quantiques. L'une des méthodes qui est intéressante et qui sera étudiée dans cet article de vulgarisation est la méthode d'électrolithographie suivie de gravure dans un matériau. Le silicium polycristallin est un matériau très important dans la conception de qubit. La cohérence des états est une chose très importante à avoir dans un qubit, et le silicium polycristallin est un matériau qui a été prouvé comme gardant très longtemps la cohérence puisque le polysilicium n'a pas de spin parasite dans l'atome

À partir d'une gaufre de silicium, il faut faire une déposition d'oxyde de silicium, ou SiO_2 . Cet oxyde va servir à créer une isolation entre les parties dopée du silicium et le silicium polycristallin. Le PolySi(silicium polycristallin) est ensuite déposé sur l'oxyde de silicium et va servir à former les grilles du Qubit. Il existe plusieurs sortes de grilles, comme des réservoirs d'électrons, des grilles de potentiels, des SET(single électron transistor) qui vont servir à détecter des électrons, ou des grilles de potentiel pour créer des

différences de potentiel entre des endroits.

Microscopie électronique

Un microscope électronique à balayage est un instrument utilisant des électrons pour former des images pouvant aller jusqu'au nanomètre de grandeur. En envoyant des électrons sur un matériau, ils vont voir leur direction changer lors d'une collision et certains d'entre eux vont ressortir de l'échantillon. Ceux-ci vont être recollés par un détecteur qui va ensuite changer le signal des électrons en images. Avec certains types de microscopes électroniques, il est aussi possible de faire de l'électrolithographie.

L'électrolithographie consiste à faire des motifs dans une résine électrosensible à l'aide d'un faisceau d'électrons provenant d'un microscope électronique. Pour exposer la résine, il faut lui envoyer une certaine dose d'électrons plutôt élevée, pour qu'elle se dissolde ensuite lors du développement. La dose d'électrons requise pour exposer les résines varie d'une résine à l'autre. Par contre, il y a des électrons partout dans la matière, mais puisqu'ils ne sont pas avec une très grande énergie d'accélération, ils ne sont pas capables d'exposer la résine.

Voici un exemple d'électrolithographie qui a été fait pour créer un qubit de spin :

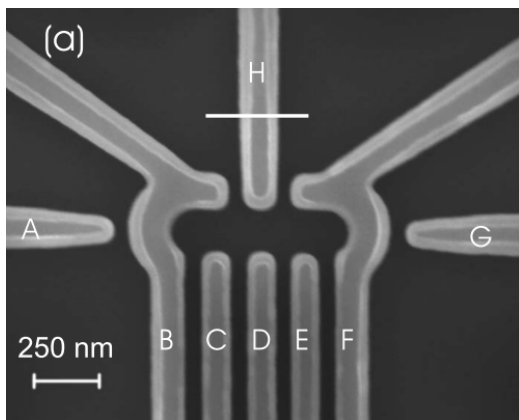


FIGURE 1 – Exemple de Qubit.

Comme dit plutôt, il existe plusieurs types de structures qui sont importantes pour l'utilisation d'un qubit. C'est sur les structures C et E que les qubits vont se former. Au bout de la structure, des électrons vont venir être isolés à l'aide des différences de potentiel autour de ces derniers.

La différence de potentiel est créée par la structure D, qui va aussi servir de jonction tunnel, ce qui va permettre aux électrons de C de passer, par effet tunnel, vers E. La structure H va servir de réservoir d'électrons, pour fournir en électrons les deux qubits. Les structures A et G vont servir à détecter la présence d'électrons dans les boîtes quantiques. Le changement dans le potentiel du qubit va changer le potentiel dans la grille A ou G et va indiquer la présence d'un électron, et dans quel état il est. Les structures B et F vont servir à créer une marche de potentiel, une « barrière infranchissable » par les électrons qui peut se retrouver sur A et G pour qu'il ne puisse pas passer, par effet tunnel, vers les structures C et E.

Gravure plasma

La gravure du polysilicium peut être faite de plusieurs façons : la gravure humide ou la gravure plasma. La gravure humide est une gravure qui n'est pas conseillée pour de petites structures puisque la reproductibilité n'est pas assurée. Par contre, la gravure plasma est contrôlée, ce qui va amplifier la reproductibilité et l'uniformité de la gravure. Un plasma est un gaz qui comprend des ions, des radicaux, des électrons et des atomes neutres. Lorsqu'on le bombarde se mélange gazeux, ou plasma, sur un échantillon, il y a des réactions chimiques qui se produisent avec le matériau. Un des exemples est l'oxydation d'un métal. Un certain plasma entre en contact avec un métal quelconque. Les ions vont venir oxyder le métal, et les radicaux vont venir graver, ou arracher certaines couches de métaux. Un mélange d'ions, de radicaux et d'électrons sont donc un mélange parfait parce sans un de ces éléments, les autres ne pourraient pas accomplir leurs tâches.

Les échantillons pour faire la conception de qubit sont composés de 100 nanomètres de polysilicium sur une couche de 35 nanomètres d'oxyde de silicium (SiO_2) le tout sur une gaufre de silicium. Le développement de la résine après la dernière étape a laissé des tranchées dans la résine allant jusqu'au polysilicium. Ainsi, la gravure plasma va venir graver la résine ainsi que le polysilicium à des taux de gravure différents. Les parties qui ont été développées vont former les tranchées dans le polysilicium, comme les parties grises foncées sur la figure 1, et les parties où la résine est restée lors du développement, donc ceux qui n'ont pas été exposés, vont former les grilles, comme les parties grises pâles. Les grilles doivent être formées dans le polysilicium et doivent avoir une épaisseur de 100 nm. Ainsi, lorsque les grilles sont parfaitement gravées, les grilles sont présentes sur l'oxyde de silicium (SiO_2) qui va créer une isolation avec

le silicium et le polysilicium.

Conclusion

Une fois la gravure terminée, on enlève le surplus de résine et le qubit est formé. Ceci représente en grande partie les étapes les plus importantes pour la conception de qubit de spin. Les qubits de spin ont un avenir très prometteur

sur l'avenue de l'ordinateur quantique puisqu'ils sont très stables, attribuables au polysilicium. La conception de qubit est une tâche très ardue et nécessite beaucoup d'heures de réflexion sur les différents problèmes qui peuvent arriver lors de la nanofabrication. Une fois le travail de la conception terminé, il reste encore beaucoup de travail dans le laboratoire avant de pouvoir les utiliser à leur pleine capacité.