

Mécanismes de redistribution d'éléments minoritaires à l'interface metal/semi-conducteur. Application à l'amélioration des contacts metal/semi-conducteur par modification des propriétés chimiques de l'interface.

Contexte

La réduction à l'échelle nanométrique des dimensions des transistors permet d'obtenir des densités plus importantes de circuits intégrés en même temps qu'un accroissement des performances des dispositifs. Cependant, cette réduction dimensionnelle entraîne une hausse de la contribution des résistances parasites des régions source/drain et extension à la résistance globale d'accès au canal. Ceci limite le courant d'alimentation des dispositifs dont les valeurs sont alors inférieures aux spécifications requises.

Dans les transistors, le contact sur silicium est assuré par un siliciure métallique, formé sélectivement sur les zones de source/drain et la grille par réaction entre un métal déposé et le silicium dopé N⁺ ou P⁺. Le caractère mid-gap des siliciures successivement utilisés pour la fabrication des contacts dans les différentes générations de transistors jusqu'au nœud 65nm (WSi₂, TiSi₂, CoSi₂, NiSi) a permis de réaliser des contacts de résistivité spécifique acceptable pour les transistors de type N comme sur les transistors de type P (>1E-8Ohm.cm²).

Cependant, pour les nouvelles architectures de dispositifs (notamment multicanaux et multifils), où les surfaces de contact sont réduites, la hauteur de barrière Schottky élevée liée à ce caractère mid-gap contribue à faire de la résistance de contact siliciure/silicium la composante principale des résistances parasites au niveau des source/drain.

Deux voies peuvent être envisagées pour réduire cette barrière : la 1^{ère} consiste à utiliser deux siliciures distincts sur le silicium type N et le silicium type P, l'un à faible hauteur de barrière pour les électrons, et l'autre à faible hauteur de barrière pour les trous ; la 2^{ème} consiste à modifier la hauteur de barrière apparente entre le siliciure et le silicium en introduisant à l'interface des espèces minoritaires appropriées. Ces 2 voies peuvent en outre être conjuguées.

Cependant, les raisons pour lesquelles l'introduction de certains éléments permet de modifier la hauteur de barrière sont encore mal connues (création de dipôles à l'interface?). De plus, un bon contrôle des propriétés de l'interface passe par la compréhension des mécanismes de diffusion et de ségrégation des espèces minoritaires dans le siliciure et le silicium. Ces espèces minoritaires peuvent être introduites soit :

- par implantation ionique dans le silicium, dans le métal du siliciure avant recuit de siliciuration ou dans le siliciure directement (B, As, P, Sb, F, S, Er, Yb, Ge, C...)
- par implantation par immersion plasma (les mêmes espèces)
- par dépôt d'un métal en quantité minoritaire (<10%) par rapport à l'élément métallique principal du siliciure (Pt, W...)

Objectif de la thèse

Le travail se déroulera en 2 parties :

Dans un premier temps, il s'agira, par une recherche bibliographique approfondie, de définir les couples siliciure/espèce minoritaire les plus pertinents en terme de modification des propriétés de hauteur de barrière. Puis, le coeur du travail expérimental portera sur l'étude des propriétés de diffusion de ces espèces dans le siliciure et le silicium (diffusion aux joints de grains, diffusion intra-granulaire...). L'accent sera mis sur la compréhension des mécanismes de redistribution de ces espèces de part et d'autre de l'interface siliciure/silicium lors des recuits de siliciuration et des traitements thermiques post-siliciuration. Une grande attention sera portée à la caractérisation de l'état chimique des espèces à l'interface (degrés d'oxydation, états de liaison, phases présentes). Dans ce cadre, de nombreuses techniques de caractérisation seront mises en œuvre (SIMS, RBS, MEIS, Diffraction des RX, MET, MEB). Au terme de cette partie, un travail de modélisation des mécanismes devra être réalisé.

Dans un 2nd temps, les matériaux ainsi élaborés seront intégrés sur des dispositifs simples permettant une analyse fine des propriétés électriques de contact de l'interface siliciure/semiconducteur (résistance de contact, hauteur de barrière et constance de Richardson). Il s'agira alors d'établir une corrélation entre l'état chimique des espèces et leur concentration à l'interface et les propriétés électriques des contacts.

Cette étude s'inscrit dans le cadre des activités "Source & Drain" du Laboratoire des matériaux Front End (LFE) du CEA-LETI. Le thésard travaillera en collaboration avec les équipes "Intégration dispositifs" et "Caractérisations" du LETI. Le thésard bénéficiera en outre des compétences acquises au LETI depuis plusieurs années dans le domaine des siliciures (formation, caractérisations physico-chimiques et électriques, intégration). La thèse sera réalisée en collaboration avec l'IM2NP.

Le candidat devra ne pas avoir redoublé et être classé au minimum dans le 1^{er} tiers au Master. La thèse est financée entièrement par le Commissariat à l'Energie Atomique et le doctorant sera salarié du CEA. Salaire brut mensuel de 1785 à 2050€ selon diplôme.

Contact CEA-LETI:

Veronique CARRON
CEA-Grenoble/LETI
D2NT/LFE
Bât 41-23, pièce 336
17 rue des Martyrs
38054 GRENOBLE Cedex 9

veronique.carron@cea.fr

Tel. 04 38 78 30 38

Résumé

Dans les transistors, le contact sur silicium est assuré par un siliciure métallique, formé sélectivement sur les zones de source/drain et la grille par réaction entre un métal déposé et le silicium dopé N+ ou P+. Le caractère mid-gap des siliciures successivement utilisés pour la fabrication des contacts dans les différentes générations de transistors jusqu'au nœud 65nm (WSi_2 , $TiSi_2$, $CoSi_2$, $NiSi$) a permis de réaliser des contacts de résistivité spécifique acceptable pour les transistors de type N comme sur les transistors de type P ($>1E-8\text{Ohm.cm}^2$).

Cependant, pour les nouvelles architectures de dispositifs (notamment multicanaux et multifils), où les surfaces de contact sont réduites, la hauteur de barrière Schottky élevée liée à ce caractère mid-gap contribue à faire de la résistance de contact siliciure/silicium la composante principale des résistances parasitiques au niveau des source/drain.

Deux voies peuvent être envisagées pour réduire cette barrière : la 1^{ère} consiste à utiliser deux siliciures distincts sur le silicium type N et le silicium type P, l'un à faible hauteur de barrière pour les électrons, et l'autre à faible hauteur de barrière pour les trous ; la 2^{ème} consiste à modifier la hauteur de barrière apparente entre le siliciure et le silicium en introduisant à l'interface des espèces minoritaires appropriées. Ces 2 voies peuvent en outre être conjuguées.

Cependant, les raisons pour lesquelles l'introduction de certains éléments permet de modifier la hauteur de barrière sont encore mal connues (création de dipôles à l'interface?). De plus, un bon contrôle des propriétés de l'interface passe par la compréhension des mécanismes de diffusion et de ségrégation des espèces minoritaires dans le siliciure et le silicium. Ces espèces minoritaires peuvent être introduites soit :

- par implantation ionique dans le silicium, dans le métal du siliciure avant recuit de siliciuration ou dans le siliciure directement (B, As, P, Sb, F, S, Er, Yb, Ge, C...)
- par implantation par immersion plasma (les mêmes espèces)
- par dépôt d'un métal en quantité minoritaire (<10%) par rapport à l'élément métallique principal du siliciure (Pt, W...)

Le travail proposé consistera à étudier les propriétés de diffusion des espèces minoritaires dans le siliciure et le silicium (diffusion aux joints de grains, diffusion intra-granulaire...). L'accent sera mis sur la compréhension des mécanismes de redistribution de ces espèces de part et d'autre de l'interface siliciure/silicium lors des recuits de siliciuration et des traitements thermiques post-siliciuration. Une grande attention sera portée à la caractérisation de l'état chimique des espèces à l'interface (degrés d'oxydation, états de liaison, phases présentes). Dans ce cadre, de nombreuses techniques de caractérisation seront mises en œuvre (SIMS, RBS, MEIS, Diffraction des RX, MET, MEB). Un travail de modélisation des mécanismes devra être entrepris. Les matériaux ainsi élaborés seront intégrés sur des dispositifs simples permettant une analyse fine des propriétés électriques de contact de l'interface siliciure/semiconducteur (résistance de contact, hauteur de barrière et constance de Richardson). Il s'agira alors d'établir une corrélation entre l'état chimique des espèces, leur concentration à l'interface et les propriétés électriques des contacts siliciure/silicium.

Contact CEA-LETI:

Veronique CARRON
CEA-Grenoble/LETI
D2NT/LFE
Bât 41-23, pièce 336
17 rue des Martyrs
38054 GRENOBLE Cedex 9

veronique.carron@cea.fr

Tel. 04 38 78 30 38

In microelectronic devices such as transistors, the contact onto the silicon is ensured by a metal silicide. This silicide is selectively formed onto the gate, the source and the drain through a reaction between a deposited metal layer and n-doped and p-doped silicon. Most of the silicides which have been used for contact formation in technology nodes down to 65nm are mid-gap (WSi_2 , TiSi_2 , CoSi_2 , NiSi). With these silicides, specific contact resistivity values around $1\text{E-}8\text{Ohm.cm}^2$ are achieved, which is acceptable for both n-type and p-type transistors.

However, on new architectures (such as mutichannel), where contact surfaces are reduced, the silicide/silicon contact resistance has become one of the most important component of parasitical source/drain resistances, because of the high Schottky barrier height associated to the mid-gap behaviour of the silicide.

Two approaches can be envisaged to minimize the Schottky barrier height: the first one deals with the use of two distinct silicides for n-type and p-type silicon: one silicide with a low barrier height for electrons, the other silicide with a low barrier height for holes ; the second approach deals with the modification of the apparent barrier height between the silicide and the silicon through the introduction of appropriate minor species at the interface. These two approaches can be combined.

However, the reasons why some species allow a barrier height modification are not well known (dipole formation at the interface?). In addition, a good control of interface properties requires the comprehension of diffusion mechanisms of minor species within the silicide and the silicon. These minor species may be introduced by several techniques:

- ionic implantation into the silicide, into the metal prior the silicidation annealing, or directly into the silicide (B, As, P, Sb, F, S, Er, Yb, Ge, C...)
- plasma immersion (same species)
- metal deposition (Pt, W...)

The goal of the work is to investigate the diffusion properties of minor species into the silicon and the silicide. The focus will be put on the comprehension of redistribution mechanisms at the silicide/silicon interface during silicidation annealing and post-silicidation thermal treatments. A great care will be devoted to the characterization of the chemical properties of species at the interface (oxidation state, chemical bonds, phase formed). In this frame, several characterizations will be used (SIMS, RBS, MEIS, XRD, TEM, SEM). A modelling of the mechanisms will be carried out. Materials thus formed will be implemented on simple devices adapted to the analyses of the silicide/silicon contact electrical properties (specific contact resistivity, Schottky barrier height, Richardson constant). The aim will be to establish a correlation between chemical state of the minor species, their concentration at the interface, and the electrical properties of the silicide/silicon contact.

Contact CEA-LETI:

Veronique CARRON
CEA-Grenoble/LETI
D2NT/LFE
Bât 41-23, pièce 336
17 rue des Martyrs
38054 GRENOBLE Cedex 9

veronique.carron@cea.fr

Tel. 04 38 78 30 38