

УДК 539.23:546.28

ПОЛУЧЕНИЕ СИЛИЦИДОВ НИКЕЛЯ МЕТОДОМ ВЖИГАНИЯ ПЛЕНКИ МЕТАЛЛА В ПОЛИКРЕМНИЕВУЮ ПЛЕНКУ

В. П. Корольков, А. Н. Юрков, А. Р. Микертумянц

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»»,
Москва, Россия

Исследовано влияние вакуумного термического отжига (в диапазоне температур 400-700 °С) на проводимость структуры пленка никеля — поликремниевый слой. Пленки никеля толщиной 500, 1000, 1200 Å напылялись методом магнетронного распыления. Показана возможность формирования проводящих слоев с поверхностным сопротивлением порядка 1 Ом/кв и на их основе «меандров» с шириной дорожки от 4 мк методами химического, плазмохимического и ионного травления.

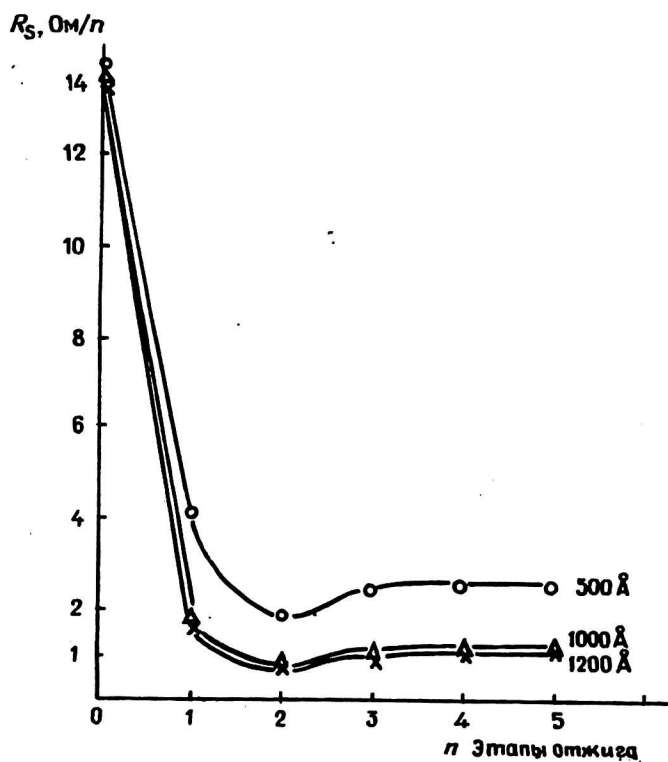
Для использования на поликремниевых затворах и в межсоединениях в твердотельных микросхемах с повышенной степенью интеграции многообещающими являются силициды, имеющие существенно большую проводимость по сравнению с поликремнием. Если в процессах, следующих за процессом формирования силицидов, можно использовать не очень высокотемпературные обработки, то весьма перспективными являются хорошо проводящие силициды никеля, имеющие проводимость на порядок выше по сравнению с поликремнием и сохраняющие стабильность свойств до температур порядка 800 °С [1]. К тому же установлено [2], что дисилицид никеля хорошо окисляется термическим способом, и электрическая прочность окисла, выращенного на структуре NiSi₂/Si, составляет величину порядка (2—5)·10⁶. Другие диэлектрические свойства силицидного окисла близки к свойствам поликремниевого окисла, выращенного в идентичных условиях.

В данной работе приводятся результаты, полученные при формировании силицидов никеля методом вжигания пленки никеля в поликремниевую пленку, нанесенную на окисленный монокристаллический кремний. Известно [3], что кинетика взаимодействия в системе пленка металла—кремний в значительной мере зависит от параметров процесса нанесения пленки, ее природы, химической чистоты материалов пленки и подложки, состояния границы раздела металл—кремний, в частности, наличия и толщины промежуточного слоя окисла, температурного режима и вакуумных условий при проведении процесса отжига двухслойной структуры Me—Si. Все эти факторы существенно влияют на воспроизводимость наблюдаемых результатов. Например, наличие тонкого промежуточного слоя окисла между кремнием и металлом для металлов, имеющих очень малое сродство к кислороду (к таким металлам, в частности, относится никель) может затормозить и даже исключить образование интерметаллического соединения. На конечный состав формирующихся силицидных слоев (в частности силицидов никеля) при одинаковых условиях термической обработки сильное влияние оказывают как толщина самой металлической пленки, так и толщина слоя поликремния и их соотношение. В зависимости от последнего фактора, например, процесс фазообразования в слоистых структурах кремний—никель может проходить по различным схемам с образованием силицидов разного состава и, естественно, с разными электрофизическими свойствами.

Для конкретного технологического маршрута изготовления микросхемы нами были выбраны определенные толщины пленок никеля и режимы термообработ-

ки. Тестовые структуры представляли собой пластины монокристаллического кремния, которые термически окислялись, на окисел наносился слой поликристаллического кремния толщиной 0,5—0,6 мк, который, в свою очередь, диффузионным способом легировался фосфором, затем в вакууме методом магнетронного распыления на поликремний напылялась пленка никеля (толщина никеля варьировалась от 500 до 1200 Å). Эта слоистая структура подвергалась термообработке в вакууме не хуже $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. в режиме ступенчатого отжига, который позволил оценить динамику изменения величины удельного поверхностного сопротивления формирующейся полицидной структуры на фоне происходящих фазовых превращений.

Из представленных на рисунке данных видно, что сопротивление исходной поликремниевой пленки (порядка 14 Ом/п) можно значительно уменьшить формированием на ее основе слоистой структуры последовательным напылением пленки никеля и ее вжиганием при сравнительно невысокой температуре (порядка 400 °С). Наблюдаемое уменьшение сопротивления слоистой структуры



Динамика изменения величины поверхностного сопротивления двухслойной структуры пленка Ni—пленка полиSi в процессе отжига:

этап 1 — до вжигания; этап 2 — 400 °С, 1 ч; этап 3 — 600 °С, 1 ч;
этап 4 — 750 °С, 1 ч; этап 5 — 750 °С, 1 ч

на этих первых этапах отжига можно связать, с одной стороны, с формированием силицидной фазы, богатой металлом, в слое поликремния, а с другой — шунтирующим действием непрореагировавшего металла и его отжигом. Следующие более высокотемпературные этапы отжига (600 °С, 1 ч и 750 °С, 1 ч) приводят к повышению сопротивления слоистой структуры, а повторная термо-

обработка в режиме (750 °С, 1 ч) не изменила проводимости структуры. Это повышение сопротивления и выход его на "полочку" можно объяснить с позиций механизма фазообразования силицидов никеля применительно к нашему случаю, когда толщина пленки никеля меньше толщины слоя поликремния. С каждым этапом термообработки продолжался процесс формирования полицидной структуры и происходило преобразование силицидных фаз в сторону менее обогащенной металлом, т. е. менее проводящей, и последняя термообработка завершила процесс перехода никеля в силицид, застabilизировав свойства структуры. Таким образом, изменения сопротивления полицидной структуры в процессе ее формирования можно связать, вероятно, как с образованием новых фаз, так и с их перераспределением по толщине слоистой структуры полицида.

Динамика изменения электросопротивления для структур с различной толщиной пленки никеля одинакова, и разница в величине проводимости обусловлена в основном толщиной сформированного силицида.

Формирование рисунка на структуре силицид—поликремний

Задача формирования рисунка на слоистых структурах силицид—поликремний решилась несколькими путями, с использованием методов фотолифтографии, химического плазмохимического и ионного травления. Нами было использовано несколько вариантов. Одним из них был маршрут с последовательным травлением свеженапыленной пленки никеля в травителе на основе ортофосфорной, азотной и уксусной кислот и затем слоя поликремния до оксида кремния в травителе на основе $\text{HF—HNO}_3\text{—H}_2\text{O}$ или плазмохимией (в низкочастотной плазме в атмосфере $\text{CF}_4 + \text{O}_2$), не меняя фотомаски или проводя замену фотомаски после первого травления.

Используя этот метод нам удалось получить меандры с шириной линии до 4 мк, но этот метод оказался недостаточно воспроизводимым из-за невысокой адгезии пленки никеля к поликремнию, приводящей к значительной подтравке. В этом варианте формирование силицида проводилось уже после формирования рисунка на слоистой структуре никель—поликремний. К тому же необходимость, как правило, замены фотомаски после первого травления также является недостатком этого метода. Тем не менее, этот вариант не может быть отброшен как неподходящий.

По второму варианту формирование рисунка проводилось методом жидкостного травления после вжигания пленки никеля в слой поликремния. В этом случае проблематичным оказался выбор травителя, который одинаково хорошо травил бы всю структуру полицида до окиси, сохраняя при этом заданные геометрические параметры рисунка. Получить воспроизводимые результаты по этому варианту не удалось, хотя эксперименты проводились на образцах, отожженных в разных режимах (т. е. на образцах, в которых были сформированы силициды разного фазового состава). Тем не менее, и этот вариант, требующий дополнительного тщательного подбора травителя или травителей к конкретному фазовому составу слоистой структуры, не может быть окончательно исключен.

Трудности жидкостного травления полицидных структур мы попытались обойти, применив метод "сухого" травления ионами аргона. Для этой цели был использован источник ионов типа "Ион-4". При этом экспериментировалось несколько вариантов:

1 — ионное травление слоя невожженного никеля, жидкостное травление с той же фотомаской поликремния и формирование силицида термическим отжигом;

2 — ионное травление пленки невожженного никеля, ионное травление значительной части слоя поликремния с последующей дотравкой поликремния жид-

костным селективным травителем или плазмохимией и формирование силицидной фазы готового рисунка термическим вакуумным отжигом;

3 — ионное травление предварительно частично или полностью сформированной сплошной по поверхности силицидной фазы до остатков слоя поликремния или чуть глубже и селективное жидкостное травление или плазмохимическое травление остатков поликремния до окисла кремния.

Во всех случаях мы имели место с двухстадийным травлением, и задача заключалась в оптимизации режимов ионного (сухого) травления и химического (жидкостного) травления или плазмохимии.

В процессе обработки способов формирования рисунка было определено, что нужно стремиться к минимизации использования жидкостного травления, так как оно являлось основной причиной брака из-за значительной селективности травления разных слоев структуры, вследствие чего наблюдалась сильная подтравка слоя поликремния и это затрудняло получение дорожек шириной 4 мк и менее.

Для получения управляемого и воспроизводимого процесса формирования рисунка на полицидных структурах был проведен анализ травимости исследованных структур ионным пучком аргона. Для этого оценивалась скорость травления элементов структуры в зависимости от параметров ионного пучка (величины ускоряющего напряжения и плотности тока ионного пучка) и по результатам оптимизировался процесс травления, учитывая при этом состояние фоторезистора после радиационного воздействия на него. Эти результаты планируются опубликовать в дальнейшем.

Было определено, что воспроизводимое изготовление рисунка получается на структурах с частично сформированным силицидным слоем, его ионное травление до расчетной величины, учитывающей, что высокотемпературная термообработка сформирует силицидный слой толщиной приблизительно в три раза превышающей толщину напыленной пленки металла (никеля) и окончательной подтравкой слоя поликремния в жидкостном травителе или плазмохимией.

Были получены меандры на полицидной структуре с величиной удельного поверхностного сопротивления (R_s) порядка 1 Ом/п. При этом эффективная величина удельного поверхностного сопротивления (т. е. с учетом изменения геометрических размеров в результате подтравок) составляла:

при ширине дорожки 50 мк ~ 1 Ом/п, при 8 мк — 1,1 Ом/п, при 6 мк — 1,15 Ом/п, при 4 мк — 1,2—1,5 Ом/п.

Дорожки шириной 2 мк воспроизводились плохо.

В результате работы была показана возможность формирования полицидных структур на основе силицида никеля и поликремния и изготовления на них линейных элементов заданной геометрии.

Литература

1. Мюрарка Ш. Силициды для СБИС. — М.: Мир, 1986. С. 136—137.
2. Rarter M. and Nicolet M. A. Thermal oxidation of nickel dicilicid//Appl. Phys. Lett. 1982. V. 40. № 2. P. 15.
3. Ottaviani G. Metallurgical aspects of the formation of silicides//Thin Solid Films. 1986. V. 140. № 1. С. 3.

FORMATION OF THIN FILMS OF SILICIDE NICKEL BY METHOD OF ANNEALING STRUCTURE Ni FILM—POLYSi

V. P. Korolkov, A. N. Yurkov, A. R. Mikertumyants

The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion", Moscow, Russia

The effects of vacuum furnace annealing (400–750 °C) of the conductivity — of structures Ni film-polySi layer has been investigated. Ni films (500, 1000, 1200 Å) were deposited by magnetron sputtering. The possibility to realise silicide conductivity layers with sheet resistance about 1 Ohm/□ and from "meanders" with the wide of lines about 4 μm by methods of chemical, plasmochemical and ion beam etching has been shown.