

06.1;06.2

## **Экстремальный характер изменения обратного тока кремниевых $p^+ - n$ структур в процессе формирования омических никелевых контактов**

© Н.В. Богач, В.Н. Литвиненко, И.Е. Марончук

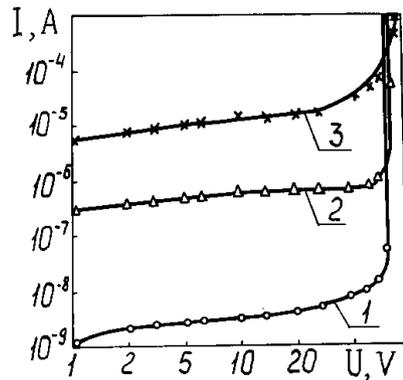
Харьковский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 22 октября 1997 г.

Описано исследование образования силицида никеля при формировании омических контактов кремниевых приборов и связь процесса с длительностью термической обработки.

В процессе формирования омических никелевых контактов к кремниевым приборам образуется силицид никеля  $Ni_2Si$ , кинетика роста которого изучена в [1,2]. Однако взаимосвязи процессов образования  $Ni_2Si$  и электрических параметров приборов уделено гораздо меньше внимания. В настоящей работе изучалось изменение обратной ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) кремниевых  $p^+ - n$  структур от длительности термической обработки при изготовлении омических никелевых контактов.

Омические контакты изготавливались на кремниевых  $p^+ - n - n^+$  диодных структурах с толщиной эпитаксиального  $n$ -слоя  $d = 10 \mu m$ , площадью  $p^+ - n$  перехода  $S = 5 \cdot 10^5 \mu m^2$  и глубиной залегания перехода  $x_j = 3.9 \mu m$  путем химического осаждения никеля [3] с последующей термообработкой в атмосфере аргона при 473–723 К.



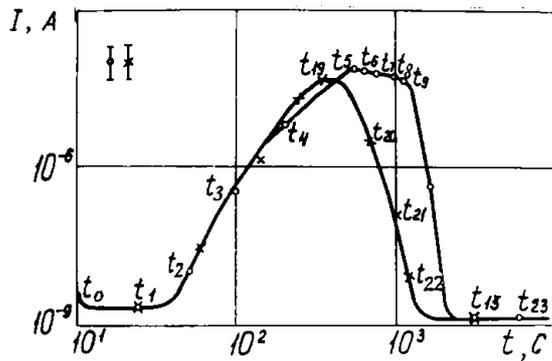
**Рис. 1.** Обратные ветви ВАХ структур, не прошедших термообработку (1) и прошедших термообработку при  $T = 673$  К в течение 150 с (2) и 360 с (3).

На рис. 1 приведены обратные ветви ВАХ одного и того же образца до термообработки (кривая 1) и после различных длительностей термообработки (кривые 2, 3), которые свидетельствуют о существенном влиянии термообработки на характер ВАХ.

Наблюдаемый экстремальный характер зависимости обратного тока диодных структур от длительности термообработки (рис. 2) может быть обусловлен процессами формирования  $\text{Ni}_2\text{Si}$ . Кинетика роста силицида никеля описывается выражением [1]:

$$h_c^2 = 0.22 \exp(-E_a/kT) \cdot t, \quad (1)$$

где  $h_c$  — толщина пленки  $\text{Ni}_2\text{Si}$ ;  $E_a$  — энергия активации процесса образования  $\text{Ni}_2\text{Si}$ ;  $k$  — постоянная Больцмана;  $T, t$  — соответственно температура и время термообработки. Расчеты, выполненные с помощью соотношения (1), с учетом толщины исходной пленки никеля и режимов термообработки показывают, что на всех кривых зависимости обратного тока диодных структур от времени термообработки в диапазоне температур 473–723 К начало спада обратного тока соответствует моменту времени завершения образования  $\text{Ni}_2\text{Si}$  (рис. 2). Это означает, что изменение обратного тока диодных структур в течение времени термообработки связано с процессом взаимодействия никеля с кремнием



**Рис. 2.** Зависимость обратных токов (при обратном напряжении  $U = 6$  В) от длительности термообработки (при  $T = 723$  К) структур с толщиной нанесенной пленки никеля  $0.6 \mu\text{m}$  (—○—) и  $0.3 \mu\text{m}$  (—x—).

при формировании пленки  $\text{Ni}_2\text{Si}$ . Исследование энергетического спектра носителей заряда методом DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) [4] подтвердило наличие в прошедших термообработку структурах глубоких центров в кремнии, соответствующих атомам никеля. Отсутствие роста обратного тока диодных структур в начальный период отжига (рис. 2) обусловлено взаимодействием никеля с пленкой  $\text{SiO}_2$  на границе раздела между кремнием и нанесенной пленкой никеля. Промежуточный слой  $\text{SiO}_2$  образуется в процессе химического осаждения никеля [3]. В начальный момент термообработки никель окисляется, восстанавливая пленку  $\text{SiO}_2$  до чистого кремния. Только после того как будет полностью восстановлена пленка  $\text{SiO}_2$ , начинается взаимодействие никеля с кремнием и образование  $\text{Ni}_2\text{Si}$ .

Известно [5], что в равновесных условиях предельная растворимость никеля в кремнии описывается соотношением:

$$N_{\text{Ni}} = 5.4 \cdot 10^{26} \exp(-2.322/kT). \quad (2)$$

Расчет предельной растворимости атомов никеля в кремнии по формуле (2) показывает, что в диапазоне температур 473–723 К она не превышает  $10^{11} \text{cm}^{-3}$ . В то же время оценки, выполненные с использованием известных зависимостей [3,5] и полученных экспериментальных

данных, показывают, что измеряемые уровни обратных токов исследуемых диодных структур могут иметь место при концентрации атомов никеля в области  $p^+ - n$  перехода  $N_{Ni} > 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Одной из возможных причин аномально высокой концентрации атомов никеля в узлах кристаллической решетки кремния в области  $p^+ - n$  перехода являются неравновесные условия в кремнии при формировании  $Ni_2Si$ , рост которого сопровождается отрывом атомов кремния от поверхности и генерацией вакансий на границе раздела кремний–силицид [1]. Избыточные вакансии, достаточно подвижные при температурах термообработки, диффундируют в глубь кремния, что приводит к увеличению растворимости никеля в кремнии. Наличие избыточных вакансий приводит также к высокой концентрации атомов никеля в приповерхностной области кремния, что также увеличивает поток диффундирующих атомов никеля в глубь кремния. В объеме кремния атомы никеля замещают свободные узлы кристаллической решетки и становятся электрически активными. Увеличение концентрации атомов никеля в узлах решетки в области объемного заряда  $p^+ - n$  перехода приводит к резкому повышению уровня обратного тока диодных структур. Процесс накопления атомов в узлах кристаллической решетки кремния будет продолжаться до завершения образования  $Ni_2Si$ . После завершения образования  $Ni_2Si$  поверхностная концентрация атомов никеля снижается и поверхность кремния перестает быть источником вакансий. Поэтому вакансии в кремнии достаточно быстро приобретают равновесное распределение. Накопленные в узлах кристаллической решетки атомы никеля становятся избыточными, они переходят из узлов решетки в междоузлия и по ним диффундируют к стокам. Граница раздела  $Si - Ni_2Si$  теперь уже является не источником, а стоком атомов никеля, т. е. проявляет геттерирующие свойства. Уменьшение концентрации атомов никеля в узлах решетки в области  $p^+ - n$  перехода приводит к снижению уровня обратного тока диодных структур.

Таким образом, увеличение уровня обратного тока диодных структур в процессе роста  $Ni_2Si$  обусловлено возрастанием концентрации атомов никеля в узлах кристаллической решетки кремния в области  $p^+ - n$  перехода за счет избыточной концентрации вакансий, генерируемых на границе раздела  $Si - Ni_2Si$ . Снижение уровня обратного тока диодных структур после завершения образования  $Ni_2Si$  связано с проявлением геттерирующих свойств границей раздела  $Si - Ni_2Si$ .

## Список литературы

- [1] *Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции* / Под ред. Дж. Поуга, К. Ту, Дж. Мейера. М.: Мир, 1982. 570 с.
- [2] *Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС*. М.: Мир, 1986. 176 с.
- [3] *Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии*. М.: Мир, 1984. 472 с.
- [4] *Воробьев Ю.В., Добровольский В.П., Стриха В.И. Методы исследования полупроводников*. Киев: Выща школа, 1988. 232 с.
- [5] *Компенсированный кремний* / Под ред. Б.И. Болтакса. Л.: Наука, 1972. 124 с.