

# ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАТОНКИХ СИЛИЦИДОВ НИКЕЛЯ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь  
Щелкунов А.В.*

*Коробко А.О. – к. т. н.*

Применение силицида никеля в качестве материала для современной микроэлектронной техники стало возможным благодаря совокупности таких его свойств, как: низкое удельное сопротивление, сравнительно низкая температура образования и хорошая совместимость с кремниевой и германо-силицидной технологиями [1]. Первостепенное значение приобретает формирование ультратонких силицидов никеля толщиной менее 20 нм в связи с миниатюризацией изделий, а, следовательно, и уменьшения размеров всех функциональных слоев. Однако у технологии NiSi есть определенные недостатки – термическая морфологическая и фазовая нестабильность, что проявляется как агломерация пленки никеля уже при температурах 600 °С, либо как переход к высокорезистивной фазе NiSi<sub>2</sub> при температурах, превышающих 700-750 °С. Вдобавок заметим, что чем тоньше пленка, тем проще проходит ее агломерация (для более тонких пленок более низкая температура агломерации). Следовательно, важно изучить влияние температуры отжига на морфологию поверхности ультратонких силицидов никеля, чтобы в дальнейшем выработать механизмы увеличения термической стабильности пленки силицида никеля.

В качестве образцов использовались пластины кремния с нанесенной методом магнетронного распыления пленкой никеля толщиной 8 нм по технологии, описанной в [2], которые отжигались в атмосфере

азота в интервале температур 450-850 °С. Для исследования морфологии поверхности силицидов никеля применялся атомно-силовой микроскоп NT-206. На рис. 1 представлены 3D изображения поверхности силицидов никеля для избранных температур отжига.

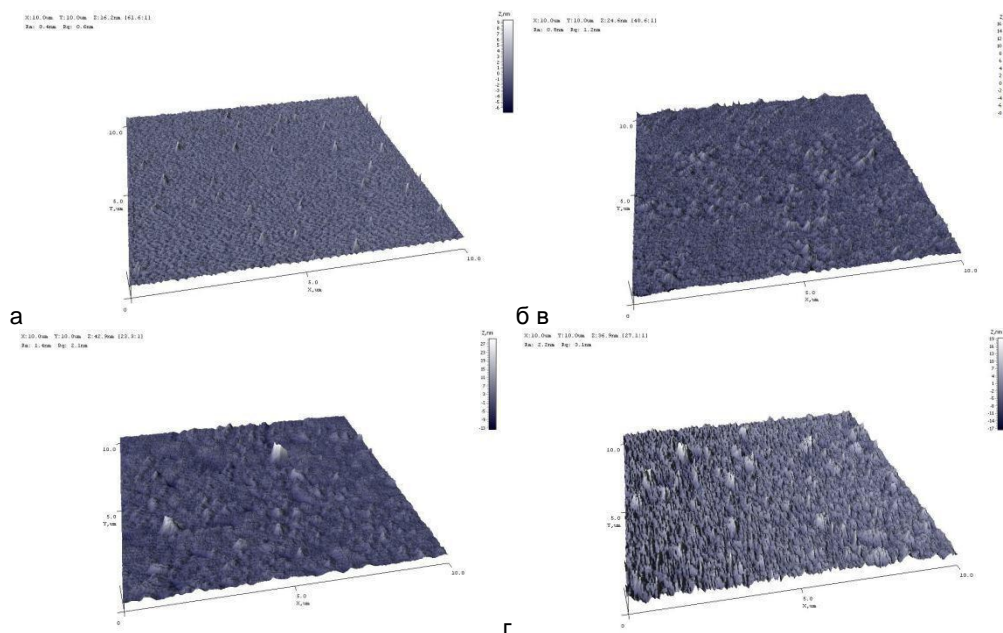


Рис. 1 – Морфология поверхности силицидов никеля при различных температурах отжига: а – 450 °С, б – 600 °С, в – 700 °С, г – 850 °С

В нашем случае агломерация представляет собой «кучкование» частиц никеля в пленке, когда появляется совокупность частиц, прочно удерживаемых между собой, приводящая к поверхностной шероховатости, дефектам, образованием островков, и, как следствие, неравномерности распределения удельного сопротивления пленки. Агломерация происходит путем связывания первичных частиц за счет Ван-дер-Ваальсовых, кулоновских или других относительно слабых взаимодействий; при этом первичные частицы в значительной степени сохраняют свою форму и размер, препятствуя образованию однородной пленки.

Таблица 1 – Зависимость среднеквадратичной шероховатости поверхности силицидов никеля от температуры

Температура, °С	450	600	700	850
Среднеквадратичная шероховатость, нм	0,6	1,2	2,1	3,1

Агломерация в ультратонких силицидах никеля, как показали результаты, наблюдается уже начиная с температуры отжига 600 °С, когда поверхностная шероховатость возрастает в 2 раза (таблица 1), поверхностная структура становится менее однородной и возникает «холмистость» пленки. С ростом температуры отжига, среднеквадратичная шероховатость увеличивается в 5 раз, что связано с сопутствующим агломерации процессом – фазовой трансформацией моносилицида никеля в дисилицид, что подтверждается результатами фазового анализа методом рамановской спектроскопии.

Таким образом, установлено, что в ультратонких пленках, агломерация в пленках силицида никеля происходит уже при температурах отжига 600 °С, что создает определенные проблемы для практического применения NiSi-технологии. В частности, данная проблема, предположительно, может быть решена с помощью модификации состава силицида никеля, как в случае силицидов никеля субмикронной толщины [3].

Список использованных источников:

- Zhang, S.L. Metal Silicides in CMOS Technology: Past, Present, and Future Trends / S.L. Zhang, M. Östling. // *Critical Reviews in Solid State and Materials Science*. - 2003. - V. 28, I. 1. - p. 1-129.
- Zhang, Z. Exploitation of a self-limiting process for reproducible formation of ultrathin Ni<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> silicide films / Z. Zhang, B. Yang, S. Gaudet, S. Rosnagel // *APL*. - V. 97. - 2010. - p. 252108.
- Karabko, A. Phase Transition and Phonon Dynamics in NiPdSi: An Annealing Study by Temperature-Dependent Raman Spectroscopy. / A.O. Karabko, A.P. Dostanko, J.F. Kong, W.Z. Shen. // *Journal of Applied Physics*. - 2009 - V. 105, I. 3. - 033518 (1-5).