

УДК 539.2

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК СИЛИЦИДОВ ТИТАНА

Маркевич М. И.¹, Щербакова Е. Н.²

¹Физико-технический институт НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. Представлены методы получения пленок силицидов тугоплавких металлов для изделий микроэлектроники. Акцент делается на формирование силицидов титана методом быстрой термической обработки (БТО). Рассматриваются факторы, ускоряющие протекание реакций формирования силицидов.

Ключевые слова: быстрая термическая обработка, силициды титана, микроэлектроника.

METHODS FOR OBTAINING TITANIUM SILICIDE FILMS

Markevich M. I.¹, Shcherbakova E. N.²

¹Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus

²Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus

Abstract. Methods for obtaining films of silicides of refractory metals for microelectronics products are presented. The emphasis is on the formation of titanium silicides by rapid thermal annealing (RTA). The factors accelerating the reactions of formation of silicides are considered.

Keywords: rapid thermal annealing, titanium silicides, microelectronics.

Адрес для переписки: Щербакова Е. Н., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: scherbakova@bntu.by

Разработка прогрессивных методов синтеза функциональных материалов с заданными свойствами представляет собой одно из приоритетных направлений в микроэлектронике. Значительный практический интерес в этой области вызывают силициды титана, которые находят разнообразное применение в технологии производства полупроводниковых интегральных схем.

Ключевой задачей при синтезе соединений в твердой фазе является управление их реакционной способностью, на которую влияет комплекс факторов: температурный режим, состав газовой среды, механические напряжения, кристаллическая структура исходных веществ и концентрация дефектов в них. Обеспечение однородных условий по всему объему образца является критически важным для создания воспроизводимого технологического процесса формирования силицидов титана. Важным технологическим преимуществом силицидов титана является множественность методов их получения. В таблице 1 представлен обзор основных способов формирования силицидов металлов.

Среди перечисленных методов БТО с использованием различных источников энергии является наиболее распространенным для синтеза силицидов тугоплавких металлов.

К достоинствам БТО относятся высокая производительность, технологичность и воспроизводимость. Кратковременность процесса минимизирует нежелательное воздействие окружающей среды на формирующиеся силициды и снижает термическую нагрузку на ранее сформированные элементы интегральных схем [1].

Экспериментальные данные подтверждают ускорение кинетики синтеза силицидов титана при использовании БТО с такими источниками энергии, как вольфрамовые лампы [10], графитовые нагреватели [11] и ИК-лазеры [12]. Общим для этих источников является то, что их излучательный спектр лежит в оптическом диапазоне. Времена, необходимые для формирования конечной фазы дисилицида титана в системе Ti-Si, сокращаются с 30–60 минут при стационарном отжиге до 10–140 секунд при БТО [1–4].

В научной литературе обсуждаются различные гипотезы, объясняющие ускорение реакций силицидообразования при БТО. Согласно [12], основной вклад вносит снижение влияния газовых примесей из-за малой длительности процесса.

При БТО интенсивным световым потоком энергия поглощается материалом, причем механизм ее передачи решетке определяется оптическими свойствами и морфологией поверхности [1–8]. В полупроводниках поглощение энергии – электромагнитного излучения происходит посредством возбуждения электронов, что приводит к возникновению значительных температурных градиентов и нестационарному теплопереносу. Временные и энергетические параметры фотонного воздействия таковы, что могут индуцировать эффекты, не наблюдаемые при стандартном отжиге и не описываемые в рамках классической термодинамики необратимых процессов.

Исследования [13, 14] демонстрируют, что при обработке импульсным лазерным излучением скорость роста зерен в металлических пленках может на несколько порядков превышать скорость при стационарном отжиге. Это явление связывают

сохранением в осажденных пленках высокой неравновесной концентрации вакансий (до 10^{-4}).

Для интерпретации аномально высокой скорости диффузии металлов в кремнии при БТО также предлагался механизм многократно возбужденных узлов или узлов с двумя однократно возбужденными связями, которые могут создавать каналы для ускоренного переноса вещества.

Таким образом, можно заключить, что на кинетику реакций при БТО оказывают одновременное влияние как термические, так и специфические нетермические факторы.

Таблица 1 – Методы синтеза силицидов металлов

Метод	Характеристика метода
1. Нанесение металла на кремниевую подложку с последующим синтезом силицида методами: – стационарного или быстрого термического отжига [1, 2]; – лазерного излучения [3, 4]; – ионно-лучевого перемешивания [3]	Чувствительность к чистоте границы раздела металл-кремний и высокой концентрации примесей. Возможность селективного формирования силицида на заданных участках. Наиболее распространен для силицидов Pt, Pd, Co, Ti
2. Со-испарение или со-распыление металла и кремния из раздельных мишеней [5]	Сложность точного контроля стехиометрии процесса. Низкая конформность покрытия рельефных поверхностей. Преимущественно используется в исследовательских, а не промышленных целях
3. Физическое распыление из композитных мишеней	Трудности, связанные с изготовлением высокочистых композитных мишеней; риск загрязнения примесями (C, O, Ar, Na). Низкая конформность покрытия
4. Реактивное катодное распыление металлических мишеней в атмосфере силана и аргона [6]	Отсутствует расход кремния из подложки. Технологическая сложность процесса, связанная с использованием токсичного силана
5. Осаждение металла на подложки, нагретые до температуры начала твердофазной реакции [7]	Перспективный метод, находящийся в стадии исследований; позволяет реализовать эпитаксиальный рост. Низкая совместимость со стандартными КМОП-техпроцессами
6. Ионно-стимулированный твердофазный синтез [8]	Ограниченная совместимость с КМОП-технологиями. Сложность технической реализации
7. CVD-пиролиз [9]	Высокопроизводительный промышленный метод. Обеспечивает высокую чистоту, воспроизводимость микроструктуры и превосходную конформность покрытия

Литература

1. Пилипенко, В. А. Быстрые термообработки в технологии СБИС / В. А. Пилипенко. – Мн.: Изд. центр БГУ, 2004. – 531 с.
2. Иевлев, В. М. Формирование пленок силицидов металлов методами импульсной фотонной обработки / В. М. Иевлев, С. Б. Куцев // Вестник Воронежского государственного технического университета. Серия Материаловедение. – 1997. – Вып. 1. – С. 8–12.
3. Борисенко, В. Е. Твердофазные процессы в полупроводниках при импульсном нагреве / В. Е. Борисенко. – Мн.: Наука и техника, 1992. – 248 с.
4. Вейко, В. П. Лазерные технологии в микроэлектронике / В. П. Вейко, С. М. Метев. – София: Изд-во Болгарской АН, 1991. – 363 с.
5. Белевский, В. П. Интегрированные ионные процессы в тонкопленочной технологии формирования силицидов титана / В. П. Белевский, В. Г. Вербицкий // Харьковская научная ассамблея. – 2001. – С. 106–107.
6. Gupta, A. Eximer laser-induced chemical vapor deposition of titanium silicide / A. Gupta, G. A. West, K. W. Beeson // J. Appl. Phys. – 1985. – V. 58, № 9. – P. 3573–3582.
7. Influence of slight deviations from TaSi₂ stoichiometry on the high-temperature stability of tantalum silicide / silicon contacts / H. Oppolzer [et al.] // J. Vac. Sci. Tech. – 1984. – V. B2(4). – P. 630–635.
8. Selective deposition of Ti: an interface study / C. Nender [et al.] // J. Vac. Sci. Technol. – 1987. – V. A5(4). – P. 1703–1707.
9. Tanielian, M. Titanium disilicide formation by sputtering of titanium on heated silicon substrate / M. Tanielian, S. Blackston // Appl. Phys. Lett. – 1984. – № 6. – P. 673–675.
10. Formation of titanium silicides by fast radiate processing / C. W. Wei [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 1984. – V. 45, № 5. – P. 527–528.
11. Titanium – silicon and silicon dioxide reactions controlled by low temperature rapid thermal annealing / L.J. Brillson [et al.] // J. Vac. Sci. Technol. – 1985. – A. 4, № 3. – P. 993–997.
12. Lee, H. S. Growth kinetics of Mo, W, Ti and Co silicides formed by Infrared laser heating / H. S. Lee, G. J. Wolga // J. Electrochem. Soc. – 1990. – V. 137, № 2. – P. 684–690.
13. Маркевич, М. И. Стимулированная собирательная рекристаллизация в тонких пленках ГЦК-металлов при воздействии импульсного лазерного излучения / М.И. Маркевич // Неорганические материалы. – 2000. – Т. 36, № 7. – С. 825–827.
14. Nanu, L. Phosphorus diffusion in silicon during rapid thermal annealing / L. Nanu, G.R. Evans // Semicond. Sci. Technol. – 1989. – V.4. – P. 711–714.

УДК 531.383

СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ В ТЕОРИИ КОНЕЧНЫХ ПОВОРОТОВ

Матвеев В. В., Хомяčkova А. Н., Каликанов А. В., Стрельцов Д. С.

Тульский государственный университет, Тула, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования новых кинематических параметров, предложенных П. Циотрасом и Дж. Лонгуски в рамках теории конечного поворота. Продемонстрирована эффективность применения этих параметров для решения задач ориентации, а также предложена схема комплексирования измерений датчиков первичной информации.

Ключевые слова: параметры (w , z), стереографическая проекция, комплексирование