УДК 538.975+621.383

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СИЛИЦИДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОНЕНТОВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

И. О. ШОЛЫГИН, Д. В. ФОМИН, А. В. ПОЛЯКОВ
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

В качестве материалов для микро- и наноэлектроники нередко используют силициды – соединения металлов с Si. В промышленности силициды применяются уже 50 лет для изготовления различных элементов электроники. В 1980-х гг. силициды платины PtSi и паладия $PdSi_2$ применили для снижения контактного сопротивления между Al и Si. По мере уменьшения техпроцесса стали применять $MoSi_2$, WSi_2, $TiSi_2$, $TaSi_2$, $CoSi_2$ и NiSi. В качестве контактных материалов для КМОП закрепились $TiSi_2$, $CoSi_2$ и NiSi [1, 2].

Низкоомная фаза C54 $TiSi_2$ долгое время была основной для переходных контактов. Однако при техпроцессе менее 150 нм технологии формирования не позволяли получить хорошее структурное качество [3]. $CoSi_2$ применялся в технологии 0,18 мкм и ниже, и обладает относительно высокой термической стабильностью по сравнению с $TiSi_2$ [1]. $CoSi_2$ может эпитаксиально расти на кремнии, что обеспечивает низкое сопротивление и стабильность границы раздела. Дальнейшее масштабирование потребовало материалов с более низкой температурой формирования, что привело к переходу на NiSi, который нашел применение в качестве контактного материала для субмикронных КМОП систем. В [2] показано, что добавка Pt повышает температурную стойкость системы. Диоды с силицидом Ni-Pt, сформированные при 600 °C...700 °C, демонстрируют хорошие вольт-амперные характеристики (ВАХ), тогда как часть диодов с чистым Ni показывает аномально высокие токи утечки. PtSi долго исследовался для инфракрасных детекторов [4].

Тугоплавкие WSi_2, $MoSi_2$ и $TaSi_2$ применялись в качестве затворных электродов, локальных межсоединений и диффузионных барьеров. Они обладают высокой термической и химической стабильностью, низким удельным сопротивлением [1]. По мере уменьшения размеров приборов их роль в контактных областях значительно снизилась [5].

Среди перспективных полупроводниковых силицидов для контактных материалов, фото- и термоэлектрических преобразователей (ФЭП, ТЭП) можно отметить $BaSi_2$ с шириной запрещённой зоны 0,83...1,1 эВ (непрямой переход) и 1,23...1,3 эВ (прямой переход), что делает его оптически более активным, чем кремний. Тонкоплёночные ФЭП p-$BaSi_2$/n-Si уже достигают КПД 9 %...10 % [6]. Однако материал чувствителен к окислению и требует сверхвысокого вакуума для формирования. Фотоотклик у ФЭП наблюдается в области 1,1...1,3 эВ,

а при 80 К появляется дополнительная чувствительность в среднем ИК-диапазоне 0,7...1,0 эВ. $BaSi_2$ пока остаётся лабораторным материалом, но его фотоэлектрические характеристики делают его перспективным для узкополосных ИК-детекторов и тандемных ФЭП [7].

Другой перспективный материал – Mg_2Si, непрямозонный полупроводник с шириной запрещённой зоны 0,74...0,86 эВ (в зависимости от метода формирования), перспективный для фотодиодов, работающих в диапазоне 200...1 400 нм. Он обладает высокой концентрацией носителей и подвижностью, хоть и уступающей традиционным полупроводникам. В [8, 9] на основе толстых поликристаллических плёнок Mg_2Si были изготовлены ФЭП Mg_2Si/Si, которые продемонстрировали узкий пик отклика при 1 050 нм, отсутствующий у обычных кремниевых фотодиодов. В настоящее времы Mg_2Si требует оптимизации технологии роста.

Анализ использования пленок силицидов в микро- и наноэлектронике показал, чаще всего они применяются для изготовления контактов, затворных элементов, диффузионных барьеров и локальных межсоединений, а также перспективны для фото- и термоэлектрических преобразователей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Metal Silicides: An Integral Part of Microelectronics / L. J. Chen [et al.] // JOM. – 2005. – P. 24–31.

2. Nickel Silicide as a Contact Material for Submicron CMOS Devices / D. Z. Chi [et al.] // Journal of Electronic materials. – 2001. – Vol. 30, № 12. – P.1483–1488.

3. Быстрая термическая обработка системы TiN/Ti/Si / М. И. Маркевич [и др.] // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 11 Междунар. конф., Минск, 14–16 окт. 2015 г. – Мн. : БГУ, 2015. – С. 82–84.

4. Effect of interfacial layer and series resistance on electrical characteristics for the PtSi/p-SiNWs Schottky diode / M. Zhu [et al.] // Physica E. – 2010. – Vol. 43. – P. 515–520.

5. **Кущев, С. Б.** Фазовый состав и субструктура силицидов, синтезированных импульсной фотонной обработкой некогерентным излучением (обзор) / С. Б. Кущев // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 3 (167). – С. 125–140.

6. $BaSi_2$ перспективный материал для фотоэлектрических преобразователей / В. Л. Дубов [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2016. – Т. 4, № 6. – С. 597–606.

7. Взаимосвязь оптических и фотоэлектрических свойств плёнок и диодных гетероструктур на основе $BaSi_2$ и Si(111) / Н. Г. Галкин [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 375–385.

8. FeSi and $CrSi_2$ Thin Films as Transparent Conductive Layers for VIS/SWIR Sensitive Mg_2Si Films Grown on Si / I. M. Chernev [et al.] // Bulletin of the Russian Academy of Sciences : Physics. – 2023. – Vol. 87, suppl. 3. – P. S370–S374.

9. Фотоэлектрические свойства диодов на основе полупроводникового силицида магния / Д. В. Фомин [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2026. – Т. 19, № 1. – С. 19–29.