

06

Морфологические и оптические свойства слоев пористого карбида кремния, легированного титаном

© Ю.Ю. Бачеригов, Р.В. Конакова, О.С. Литвин, О.Б. Охрименко,
А.М. Светличный, Н.Н. Московченко

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,
Киев

E-mail: olga@isp.kiev.ua

Таганрогский государственный радиотехнический университет

E-mail: svetlich@tsure.ru

Поступило в Редакцию 1 августа 2005 г.

Рассматривается влияние быстрого термического отжига на свойства слоев пористого карбида кремния, поры которого легированы титаном. Проведенные исследования морфологии поверхности и спектров фотолюминесценции показали, что следствием высокотемпературного отжига является образование силицидов титана. Кроме того, отжиг приводит к увеличению размеров зерен и проявлению пор на поверхности системы *por*-SiC + Ti. Данные фотолюминесценции коррелируют с данными по анализу фазового состава и морфологии поверхности образцов. Установлено, что быстрый термический отжиг приводит к трансформации структуры пористого карбида кремния, легированного титаном.

PACS: 61.43.Gt

Карбид кремния является перспективным материалом современного приборостроения ввиду высокой радиационной стойкости и температурной стабильности. Особый интерес вызывает исследование пористого карбида кремния как материала буферного слоя при выращивании гомо- и гетероэпитаксиальных слоев на карбиде кремния. Кроме того, в пористых полупроводниках, обладающих большой внутренней поверхностью, может быть реализована эффективная и быстрая диффузия. Все это делает пористый карбид кремния перспективным материалом для поиска материалов оптоэлектроники с новыми свойствами.

В настоящей работе рассматривается влияние быстрого термического отжига (БТО) на свойства слоев пористого карбида кремния,

поры которого легированы титаном. Диффузия атомов титана в поры карбида кремния осуществлялась в процессе отжига образцов в вакууме. Исходным материалом служил карбид кремния политипа 6H, легированный азотом до 10^{17} cm^{-3} . Пористый карбид кремния получали анодным травлением в водно-спиртовом растворе плавиковой кислоты: $\text{H}_2\text{O} : \text{HF} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1 : 1 : 2$, плотность тока составляла 20 mA/cm^2 , время травления — 5 min. Затем материал подвергался травлению в $\text{KNO}_3 + \text{KOH}$ для вскрытия пор. На следующем этапе на поверхность пористого карбида кремния с помощью термического метода напыления наносилась пленка титана. Затем образцы пористого SiC с введенным Ti были подвергнуты отжигу в вакууме при температуре 1350°C в течение 8 min. После отжига в вакууме образцы были подвергнуты БТО в атмосфере сухого кислорода при температурах 700, 900 и 1000°C . Время БТО во всех случаях составляло 30 s.

Были проведены исследования морфологии поверхности, фазового состава и спектров фотолюминесценции (ФЛ) исходного образца карбида кремния, а также образцов пористого карбида кремния, *por*-SiC с введенным титаном до и после БТО.

Морфология поверхности образцов исследовалась на атомно-силовом микроскопе (АСМ) NanoScope IIIa (DJ) в режиме периодического контакта с использованием кремниевых зондов с номинальным радиусом закругления острия до 10 nm. Фазовый состав системы *por*-SiC + Ti исследовали на рентгенодифрактометре ДРОН-3М при использовании CuK_α -излучения. Спектры ФЛ измерялись при комнатной температуре в области 1.8–3.2 eV, в качестве возбуждающего излучения использовалось излучение азотного лазера с длиной волны 337 nm (3.67 eV).

Как показали морфологические исследования образца, подвергнутого анодному травлению, поры на поверхности отсутствуют, что коррелирует с литературными данными [1]. После травления образца в $\text{KNO}_3 + \text{KOH}$ на поверхности становятся заметными поры. Заполнение пор карбида кремния титаном приводит к тому, что поверхность структуры *por*-SiC + Ti состоит преимущественно из плотно упакованных зерен (без пор) неправильной формы, без четко выраженных границ, размер зерен 20–30 nm. После отжига в вакууме на поверхности образца наряду с зернистой структурой появляются поры. БТО при 700°C приводит к увеличению размера зерен до 30–40 nm, однако пор на поверхности в этом случае не видно. При увеличении температуры

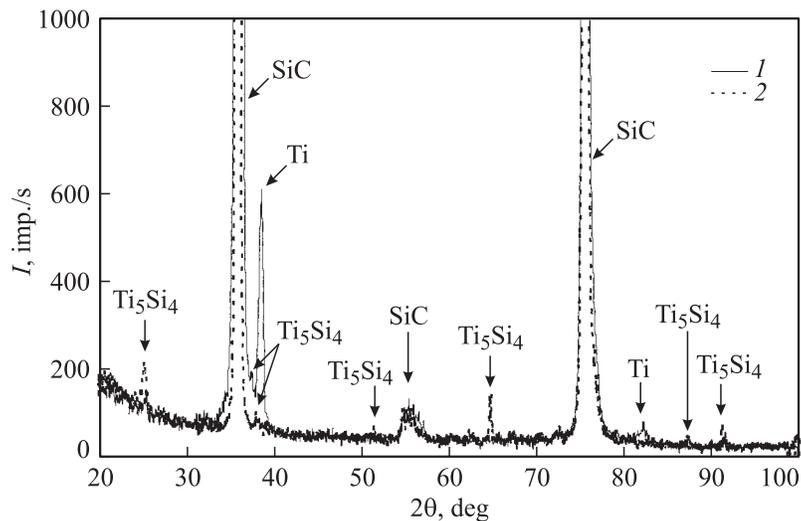


Рис. 1. Дифрактограмма пористого карбида кремния, легированного титаном, до (1) и после (2) БТО при 1000°C .

БТО до 900 и 1000°C размер зерна продолжает увеличиваться до $70\text{--}100\text{ nm}$ соответственно и появляются поры.

Указанные изменения поверхности образцов при высокотемпературном отжиге сопровождаются фазовыми превращениями приповерхностных областей структуры структуры $por\text{-SiC} + \text{Ti}$, а именно, образованием силицидов титана (рис. 1).

На рис. 2 приведены спектры ФЛ исследуемых образцов. Наблюдается хорошая корреляция между спектрами ФЛ и данными АСМ. Так, спектры ФЛ исходного образца и образца с нескрытыми порами практически совпадают (рис. 2, кривые 1, 2), что согласуется с отсутствием пор на поверхности образцов. Данные спектры ФЛ состоят из двух широких полос с максимумами в области 2.4 и 2.75 eV , которые обусловлены примесно-дефектными центрами и донорно-акцепторными парами соответственно [2–4]. Появление пор на поверхности образца сопровождается появлением в спектре ФЛ слабой полосы с максимумом в области 2.15 eV (рис. 2, кривая 3), возрастанием интенсивности полосы ФЛ с максимумом в области 2.75 eV , а также заметным

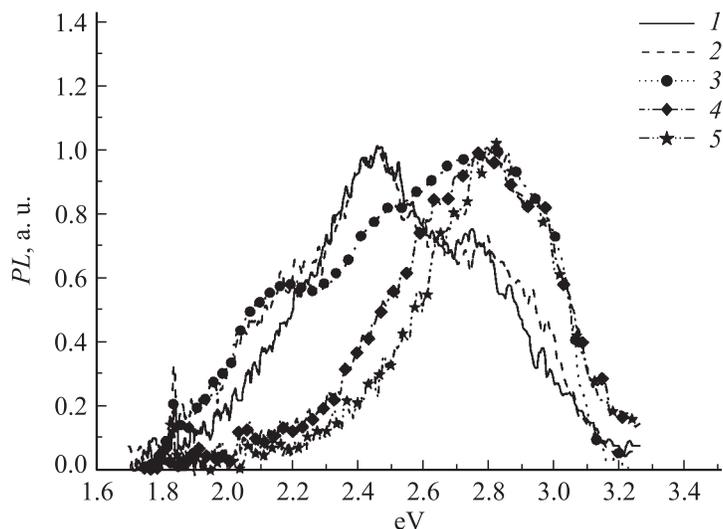


Рис. 2. Спектры ФЛ слоев пористого SiC: 1 — исходный образец, 2 — образец с нескрытыми порами, 3 — образец после травления в $\text{KNO}_3 + \text{KOH}$, 4 — образец с порами, легированными титаном, 5 — отожженный образец с порами, легированными титаном.

уменьшением полосы с максимумом в области 2.4 eV. Такие изменения в спектре ФЛ можно связать с появлением мелкодисперсной кубической фазы SiC [3,5,6]. Появление мелкодисперсной кубической фазы карбида кремния в образцах пористого карбида кремния, выращенного на кристаллах 6H-SiC, в литературе объясняется тем, что в результате электрохимического травления происходит разрыв межслоевых связей в структуре кристалла 6H-SiC и образуются тонкие оболочки пор, состоящие из мелкодисперсной кубической фазы SiC [3,5,6]. После легирования титаном пористого карбида кремния в спектре ФЛ-структуры полоса с максимумом в области 2.15 eV исчезает и наблюдается только одна широкая полоса с максимумом в области 2.8 eV (рис. 2, кривая 4), характерная для люминесценции пористого карбида кремния, полученного методом анодизации 6H-SiC [2]. Исчезновение полосы 2.15 eV в спектре ФЛ коррелирует с исчезновением пор на поверхности структуры *por*-SiC + Ti. Отжиг образца *por*-SiC с внедренным титаном в

вакууме приводит к сужению полосы ФЛ с максимумом в области 2.8 eV (рис. 2, кривая 5), что может свидетельствовать об уменьшении концентрации поверхностных дефектов за счет взаимодействия атомов титана и собственных дефектов карбида кремния при термообработке. В пользу взаимодействия при отжиге титана и карбида кремния свидетельствует появление следов силицида титана в дифрактограммах образцов, подвергнутых высокотемпературной обработке (рис. 1, кривая 2). БТО в потоке сухого кислорода при температурах 700 и 900°C не оказывает существенного влияния на форму и положение максимума полосы ФЛ с максимумом в области 2.8 eV. При увеличении температуры БТО до 1000°C наблюдается уширение полосы ФЛ, что, скорее всего, связано с тем, что при таких температурах вновь начинают образовываться структурные дефекты.

Проведенные исследования показали, что пористая структура карбида кремния может быть успешно использована для диффузии титана. Кроме того, показано, что БТО приводит к трансформации структуры пористого карбида кремния, легированного титаном. Таким образом, варьируя режимы БТО, можно направленно модифицировать свойства структуры *por*-SiC + Ti.

Список литературы

- [1] Савкина Н.С., Ратников В.В., Шуман В.Б. // ФТП. 2001. Т. 35. В. 2. С. 159–163.
- [2] Konstantinov A.O., Henry A., Harris C.I. // Appl. Phys. Lett. 1995. V. 66. N 17. P. 2250–2252.
- [3] Данишевский А.М., Шуман В.Б., Рогачев А.Ю. и др. // ФТП. 1996. Т. 30. В. 6. С. 1064–1070.
- [4] Takahiro Matsumoto, Jun Takahashi, Teruyuki Tamaki et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. N 2. P. 226–228.
- [5] Данишевский А.М., Шуман В.Б., Гук Е.Г. и др. // ФТП. 1997. Т. 31. № 4. С. 420–424.
- [6] Данишевский А.М., Шуман В.Б., Рогачев А.Ю. и др. // ФТП. 1995. Т. 29. В. 12. С. 2122–2132.