

ОРИЕНТИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПОДЛОЖКИ НА СТРУКТУРУ ПЛЕНОК WSi_2 НА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ

Крылов С.М.

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

Научный руководитель: Шахлевич Г.М. – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Определены условия формирования на кремнии поликристаллических пленок при ионно-плазменном распылении мишеней WSi_2 . Установлен характер фазообразования и рекристаллизации в пленках WSi_2 при отжиге.

Ключевые слова: силициды, тонкоплёночные структуры, рекристаллизация.

Введение. Пленки силицидов переходных и тугоплавких металлов представляют большой интерес для исследований. Это объясняется перспективами их применения в качестве материалов для создания высоконадёжных систем металлизации полупроводниковых приборов и интегральных схем. Пленки указанных соединений имеют более высокую электропроводность по сравнению с пленками поликристаллического кремния, хорошие барьерные свойства против взаимной диффузии, устойчивы к термической обработке и воздействию агрессивных сред, используемых в микроэлектронике.

Основная часть. Настоящая работа посвящена изучению влияния ориентации подложки и отжига на структуру и кристаллические свойства тонких пленок WSi_2 .

Пленки толщиной 0,2 мкм наносились ионно-плазменным распылением поликристаллической мишени WSi_2 со скоростью 0,5 нм/с на кремниевые подложки с ориентацией $\langle 111 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$. Поверхность подложки была предварительно очищена ионным распылением в едином вакуумном цикле, чтобы предотвратить влияние загрязнений и адсорбированных атомов на характер взаимодействия в системе пленка – подложка. Температура подложки была выбрана в диапазоне 390 – 500 °С связи с малым количеством информации о фазообразовании в пленках силицида вольфрама при таких температурах. Отжиг проводился в среде аргона в интервале температур 700 – 1000 °С в течение 30 мин. Фазовый состав и кристаллические свойства пленок изучены на аппарате ДРОН-2, морфологию поверхности – с помощью электронной микроскопии. Рентгеновские измерения осуществляли по методу Дебая – Шеррера в интервале углов $2\theta = 10 - 130^\circ$. В качестве величины, характеризующей степень текстурирования исследуемых материалов, выбрана плотность полюса P , вычисляемая как:

$$P_{hkl} = \frac{I_{hkl}}{I_{hkl}^0} / \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{I_{hkl}}{I_{hkl}^0}$$

где I_{hkl}^0 – интенсивность регистрируемых отражений от порошка; I_{hkl} – интенсивность регистрируемых отражений от текстурированного материала; n – количество регистрируемых отражений.

При конденсации силицида вольфрама на подложки $\langle 111 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$ кремния, нагретые до температуры < 400 °С, получены мелкодисперсные, сильно аморфизованные пленки. Повышение температуры подложки выше 400 °С приводит к формированию поликристаллических, гетерогенных пленок. На рентгенограммах этих материалов наблюдаются рефлексы трёх фаз: WSi_2 , W_5Si_3 и поликристаллического кремния. Причиной появления низшего силицида W_5Si_3 и свободного кремния является различие температур образования силицидов вольфрама. W_5Si_3 образуется при температуре 200 – 400 °С, тогда как дисилицид вольфрама образуется при температурах 500 – 700 °С, поэтому на подложке,

нагретой до температуры $<500\text{ }^{\circ}\text{C}$ может формироваться соединение W_5Si_3 . Наличие же свободного кремния объясняется процессом испарения и конденсации соединения вольфрама и кремния.

Характерной особенностью фазы дисилицида вольфрама в пленках, нанесенных на кремниевую подложку, является направленность роста. Рентгенографические измерения указывают на ориентацию кристаллов WSi_2 вдоль направлений $[001]$ и $[112]$. Плотность полюса P $[001]$ равна 2,21 и 2,56, а P $[112]$ – 1,42 и 1,47 для подложек кремния с ориентациями $\langle 111 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$ соответственно. Предпочтительность роста в аксиальном направлении объясняется тем, что в этом случае на единице поверхности подложки формируется максимальное количество элементарных ячеек наносимого материала.

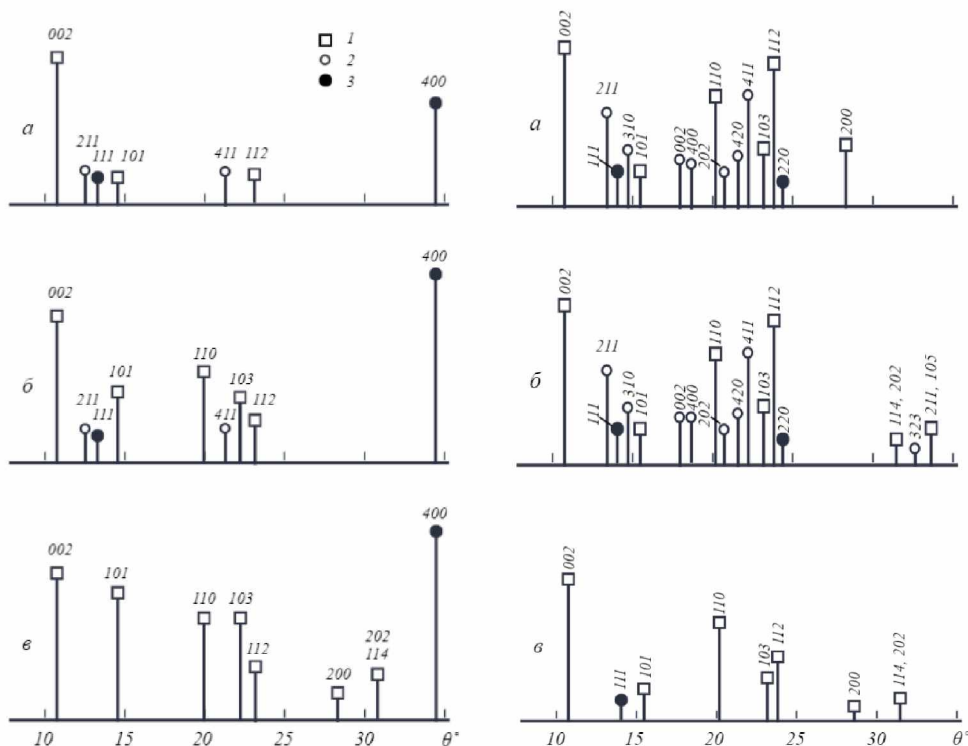


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 1 Штрих-диаграмма пленок дисилицида вольфрама, полученных на $\langle 100 \rangle$ Si: *a* – после конденсации на подложку с температурой $470\text{ }^{\circ}\text{C}$, *б* – после отжига при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 30 мин, *в* – после отжига при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 30 мин. 1 – WSi_2 , 2 – W_5Si_3 , 3 – Si

Рис. 2 Штрих-диаграмма пленок дисилицида вольфрама, полученных на $\langle 111 \rangle$ Si: *a* – после конденсации на подложку с температурой $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, *б* – после отжига при $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 30 мин, *в* – после отжига при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 30 мин. 1 – WSi_2 , 2 – W_5Si_3 , 3 – Si

Весьма интересные особенности текстуры пленок, полученных на подложках кремния с разной ориентацией, наблюдаются при отжиге. Как известно, рекристаллизация в массивных поликристаллических образцах WSi_2 приводит к усилению текстуры в направлении $[001]$. Однако в тонких пленках этот процесс определяется влиянием подложки. При рекристаллизации пленок WSi_2 нанесенных на $\langle 100 \rangle$ Si, как видно из рисунка 1б и в, происходит ослабление текстуры в аксиальном направлении. Отжиг при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 30 мин приводит к уменьшению плотности полюса P $[001]$ до 1,37 и рентгенограммы таких пленок подобны полученным для порошковой мишени. Наблюдается так же значительное изменение параметров элементарной ячейки пленок по сравнению с массивным образцом ($a_0 = 0,3217\text{ нм}$, $c_0 = 0,7870\text{ нм}$).

Совсем по-другому идёт рекристаллизация пленок, полученных на подложке $\langle 111 \rangle$ кремния. Отжиг приводит к ещё большему их текстурированию в условиях малого искажения кристаллической решетки, о чём свидетельствует отсутствие различий в размерах элементарных ячеек пленки ($a_0 = 0,3204$ нм, $c_0 = 0,7843$ нм) по сравнению с массивным образцом. Текстура в направлении $[001]$ усиливается (рисунок 2б и в), поглощая другие преимущественные ориентации, и остается единственной. Плотность полюса в аксиальном направлении $P [001]$ пленок равна 4,66, тогда как $P [112] - 1,07$.

Электронно-микроскопическое исследование показывает, что процесс рекристаллизации сопровождается значительным изменением топологии поверхности пленки WSi_2 полученных на подложке $\langle 100 \rangle$ Si. Если не отожженные пленки имеют однородную, достаточно ровную поверхность, то в ходе термообработки на ней формируется рельеф из отдельных, крупных блоков, число которых растёт по мере увеличения температуры (времени) отжига. Эти образования в поперечнике составляют 400 – 500 нм, что на порядок больше среднего размера зерна в пленке и сравнимо с её толщиной. Формирование такого рельефа поверхности связано с процессом ориентированного роста кристаллитов в процессе рекристаллизации.

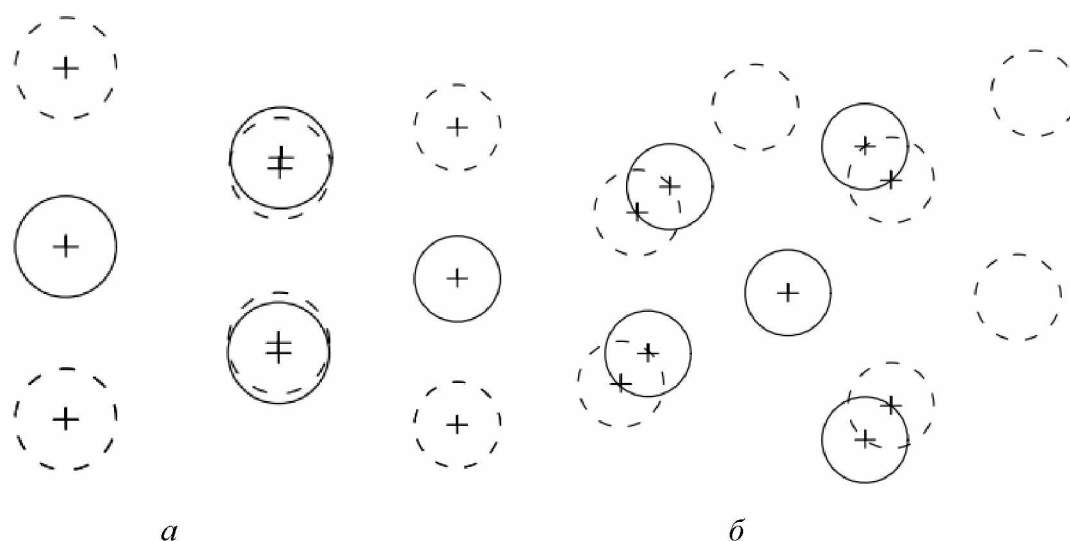


Рис. 3. Проекция базисной плоскости WSi_2 на плоскость кремния: а – $\langle 111 \rangle$; б – $\langle 100 \rangle$. Сплошные окружности – атомы Si в WSi_2 , штриховые – в подложке

Видно, что характер рекристаллизации при отжиге пленок WSi_2 , полученных на $\langle 111 \rangle$ Si, сильно отличается от наблюдавшихся в пленках, осажденных на подложки $\langle 100 \rangle$ Si и SiO_2 . Это связано с влиянием материала подложки. Сравним расположение атомов в плоскости, перпендикулярной направлению $[001]$, решетки WSi_2 с расположением атомов в плоскости $\langle 111 \rangle$ подложек. На рис. 3,а показана проекция перпендикулярной направлению $[001]$ атомной плоскости WSi_2 , состоящей из атомов Si, на плоскости $\langle 111 \rangle$ кремниевой подложки. Видно, что положение атомов практически совпадают. На это указывает и отсутствие искажений кристаллической решетки пленки по сравнению с массивным образцом дисилицида вольфрама. Если учесть выгодность роста зерна вдоль аксиального направления в процессе осаждения и рекристаллизации, становится понятным, почему происходит усиление текстурирования пленок WSi_2 в ходе высокотемпературного отжига.

В случае отжига пленок, осажденных на $\langle 100 \rangle$ Si, влияние подложки проявляется в ослаблении аксиальной текстуры роста в силу значительного различия в положениях атомов кремния, что легко проверить графически (рисунок 3,б). Следствием указанного

влияния является сильная деформация кристаллической структуры пленок, о чем свидетельствуют данные расчёта параметров элементарной ячейки отожженных образцов.

Заключение. Определены условия формирования на кремнии поликристаллических пленок при ионно-плазменном распылении мишеней дисилицида вольфрама. Установлен характер фазообразования и рекристаллизации в пленках WSi_2 при отжиге и показано, что на подложках кремния с ориентацией $\langle 111 \rangle$ возможно получение пленок с явно выраженной и возрастающей при термообработке аксиальной текстурой.

Список литературы

5. *Силициды* / Самсонов Г.В., Дворина Л.А., Рудь Б.М. – М.: Металлургия, 1979. – 272 с.
6. *Рентгенография металлов и полупроводников.* / Уманский Я.С. – М.: Металлургия, 1969 – 496 с.
7. *Защитные высокотемпературные покрытия.* / Полтанцев Н.С., Змий В.И., Снежко И.А. – Л. : Наука, 1972 – 343 с.
8. *Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов* / Миркин Л.И. – М. : Физматгиз, 1961 – 862 с.

UDC 621.382.12

ORIENTING EFFECT OF SUBSTRATE ON THE STRUCTURE OF WOLFRAM DISILICIDE FILM ON SINGLE-CRYSTAL SILICON

Krylou S.M.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
Shaklevich G.M. – Cand. of Sci, associate professor, associate professor of the Department of ETT*

Annotation. Silicides of transition and refractory metals are of great research interest in microelectronics. This is explained by the prospect of their application as materials for the creation of highly reliable metallization systems for semiconductor devices and integrated circuits. Films of the above compounds have high electrical conductivity compared to films of polycrystalline silicon, good barrier properties against mutual diffusion, are resistant to thermal treatment and aggressive media used in microelectronics.

Key words: silicides, thin-film structures, recrystallization.