

УДК 548.4, 537

PACS number(s): 68.43.-h, 68.35.Fx, 71.20.Mq

МАГНІТОСТИМУЛЬОВАНІ ПРОЦЕСИ ОКИСНЕННЯ *n*-Si

Л. Стебленко¹, О. Кордубан², О. Коплак¹, П. Демченко³

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 64, МСП 01601 Київ, Україна
e-mail: koplak_o@ukr.net

²Інститут металофізики імені Георгія Курдюмова
бульв. Вернадського, 36, 03142 Київ, Україна

³Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна

Досліджено магнітостимульовані процеси окиснення на поверхні монокристалічного Cz-*n*-Si(111) та мікроструктурованого (МС) кремнію. Проведений хімічний аналіз МС Si засвідчує зростання концентрації кисню в середньому на 6% унаслідок результату впливу слабого постійного магнітного поля ($B=0,17$ Тл). За допомогою рентгенівських дифракційних досліджень підтверджено факт зміни окисної фази в МС кремнії внаслідок магнітного оброблення. Унаслідок спричиненого магнітним полем підсилення хімічної активності та дифузійної нестійкості в приповерхневих шарах кремнію відбуваються міждефектні реакції між Si-, O-, OH- групами, або ж групами хімічних елементів, наслідком яких є перебудова дефектної структури, яка позначається на кількості окисної фази у поверхневій окисній плівці SiO₂. Виявлені особливості магнітостимульованих процесів окиснення Si, пов'язані з проходженням декількох альтернативних процесів в приповерхневих шарах.

Ключові слова: кремній, магнітне поле, окиснення.

За останні 15 років в літературі накопичено досить великий обсяг експериментальних фактів впливу магнітних полів на властивості діаманітних матеріалів [1, 2]. При цьому в роботі [3] зазначено, що дія імпульсного магнітного поля спричинює активацію поверхні напівпровідників. У попередніх наших роботах було визначено, що внаслідок дії слабого постійного магнітного поля (МП) збільшується хімічна активність поверхні Cz-Si, яка призводить до зростання товщини природного окисного шару SiO₂ ~ 4 рази [4]. Ці результати свідчать про посилення адсорбційної здатності приповерхневих шарів Cz-Si та магнітостимульовані процеси окиснення. Оскільки кремній та структури на його основі часто експлуатуються в умовах дії слабких магнітних полів, доцільно було дослідити зміну домішково-структурного стану в процесі магнітостимульованого окиснення поверхні Si, що є актуальним завданням як в науковому, так і в практичному розміщенні.

Дослідження проводили на двох групах зразків n-Si: зразки мікро-структурованого (МС) кремнію та зразки монокристалічного Cz-n-Si(111), на поверхні яких була наявна природна окисна плівка SiO_2 . Зразки МС кремнію одержували шляхом ретельного розтирання Cz-n-Si(111) в агатовій ступці до порошкоподібного стану. Розмір кристалітів сягнув 10–40 мкм. Магнітну обробку (МО) здійснювали шляхом витримки зразків в слабкому постійному магнітному полі ($B=0,17$ Тл), час МО варіювався від 1 до 50 діб.

З метою дослідження магнітостимульованих процесів окиснення в зразках Cz-n-Si(111) був залучений метод рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС): $E_{\text{MgK}\alpha}=1253,6$ еВ, $P=200$ Вт. Хімічний аналіз МС кремнію отриманий за допомогою енергодисперсійного аналізатора на основі JEOL – JSM-6490LA. Кількісний фазовий аналіз МС кремнію проведено на автоматичному дифрактометрі STOE STADI P з лінійним позиційно-чутливим детектором PSD за схемою модифікованої геометрії Гінье, (CuK α 1- випромінювання, $T = 23,0 \pm 5^\circ\text{C}$, $U = 40$ кВ, $J = 40$ мА).

Як було зазначено у попередніх наших дослідженнях методом РФЕС було зафіксовано зміну кількості окисної фази SiO_2 в Cz-n-Si (111) внаслідок магнітного оброблення [4]. З метою детальнішого дослідження магнітоіндукованих процесів окиснення поверхні Cz-n-Si (111) був знятий O1s спектр поверхні досліджуваних зразків до та після МО. Спектри кисню (рис.1, 2) відповідають хімічному стану кисню в двоокисі кремнію SiO_2 з енергією зв'язку 533 еВ у вихідній плівці (рис. 1) та енергією зв'язку 533,3 еВ у плівці, наявній на зразках Cz-n-Si(111), які пройшли магнітну обробку ($B=0,17$ Тл, $t_{\text{МО}}=10$ діб) (рис. 2).

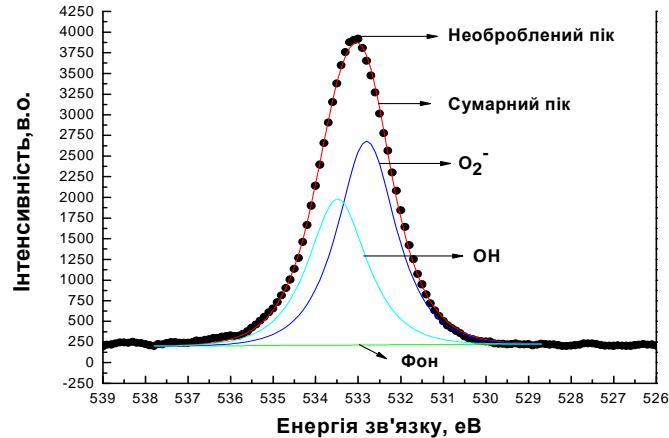


Рис. 1. Рентгенівські фотоелектронні спектри для рівня O 1s: від поверхні контрольних зразків Cz-n-Si(111)

Після проведеної деконволюції цих спектрів для рівня O 1s були виявлені гідроксильні групи ОН, які свідчать про певне гідрогенізоване окиснення поверхні кристалів кремнію після МО. Унаслідок спричиненого магнітним полем підсилення хімічної активності та дифузійної нестійкості у приповерхневих шарах кремнію відбуваються міждефектні реакції між кремнієм, гідроксильними та кисневими групами

або ж групами хімічних елементів, наслідком яких є перебудова дефектної структури, яка позначається на кількості окисної фази у поверхневій окисній плівці SiO_2 .

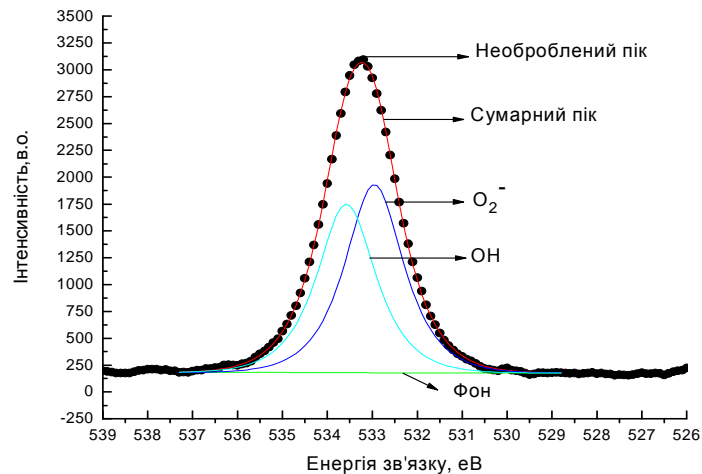


Рис. 2. Рентгенівські фотоелектронні спектри для рівня $\text{O } 1s$ від поверхні Si після магнітної обробки ($B=0,17$ Тл, $t_{\text{МО}}=10$ діб)

Оскільки в процесі окиснення визначальну роль відіграє поверхня, було зроблено припущення про те, що зумовлені MO адсорбційні процеси на більш розвиненій поверхні MC кремнію відбуватимуться інтенсивніше, ніж на поверхні Cz-n-Si (111).

На підставі аналізу хімічних спектрів, отриманих за допомогою енергодисперсійного аналізатора, був розрахований елементний склад досліджуваних зразків (рис. 3). Аналіз отриманих експериментальних даних виявив зростання концентрації кисню в середньому на 6% в MC кремнії унаслідок MO . Як видно з рис. 3, в перші 7 діб MO простежується практично лінійне наростання концентрації кисню, що свідчить про розрив кремній-кисневих зв'язків при магнітній дії.

Подальше різке зменшення концентрації O_i ($t_{\text{МО}}=10-12$ діб) визначається процесами окиснення MC кремнію, після чого знову простежується плавне зростання зазначеної залежності. Після завершення довготривалого впливу МП ($t_{\text{МО}}=50$ діб) релаксація концентрації O_i до вихідних значень не відбулась, що свідчить про залишковий ефект після MO .

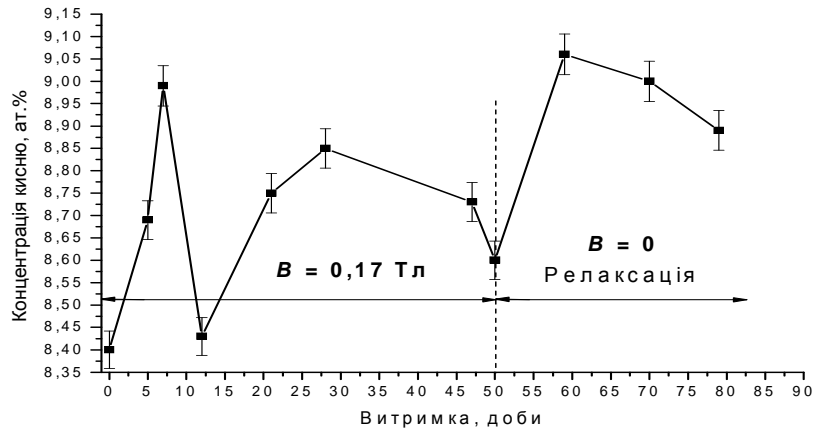


Рис. 3. Зміна концентрації кисню в мікроструктурованому Si під час МО в постійному МП та після її завершення

Немонотонний характер цієї залежності можна пояснити тим, що магнітне поле стимулює не лише процес розриву хімічних кремній-кисневих зв'язків, але й альтернативні дифузійні та окисно-відновні процеси, які паралельно відбуваються на поверхні Si, що і призводить до немонотонної зміни концентрації кисню в МС кремнії внаслідок МО.

Наявність окисно-відновних процесів в МС кремнії, який зазнав магнітної обробки, була підтверджена рентгенографічним методом. Цей метод дає змогу виявити збільшення масової частки окисної фази в МС Si внаслідок магнітної обробки (рис. 4).

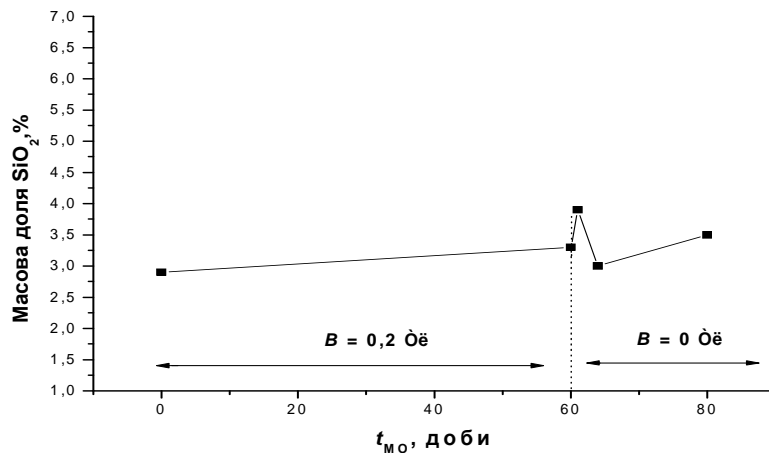


Рис. 4. Зміна масової частки окисної фази в кремнії під впливом магнітної обробки: індукція магнітного поля: $B=0,17$ Тл; час магнітної обробки $t_{МО}=60$ діб

Згідно з [5], у початковий період формування окису кремнію в процесі окиснення МС Si відбувається адсорбція кисню на мікрочастинках з утворенням моноокису SiOx. Згідно з припущеннями, висловленими в [5], взаємодія деформованих зв'язків з киснем призводить до відриву атома кремнію і до утворення окису кремнію. Наявність магнітного впливу суттєво послаблює Si-Si зв'язки і тому інтенсифікує процес формування плівок окису кремнію.

Як і припускалося, швидкість окиснення мікрокристалічного кремнію порівняно з монокристалічним кремнієм є вищою, це зумовлено тим, що межі кристалітів є скупченням дефектів – дислокацій, дефектів росту та пакування. Дефекти окису кремнію є основними каналами, за якими відбувається перенесення окиснювача в структурі мікрокристалічного порошку.

1. *Левин М.Н.* Воздействие импульсных магнитных полей на кристаллы Cz - Si / М.Н. Левин, Б.А. Зон // Журн. эксперим. и теор. физ. – 1997. – Т. 111, № 4. – С. 1373–1397.
2. *Головин Ю. И.* Магнитопластичность твердых тел / Ю.И. Головин // Физ. тверд. тела. – 2004. – Т. 46, № 5. – С. 769–803.
3. *Левин М. Н.* Активация поверхности полупроводников воздействием импульсного магнитного поля / М.Н. Левин, А.В. Татаринцев, О.А. Косцов, А.М. Косцов // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 73, № 10. – С. 85–87.
4. *Макара В.А.* Изменение физико-химического состояния и топологии поверхности монокристаллического кремния под влиянием слабого постоянного магнитного поля / В.А. Макара, Л.П. Стебленко, А.М. Кордубан и др. // Сборник научных трудов II международной научной конференции «Материалы и структуры современной электроники». – Минск, Беларусь, 5–6 октября 2006 года. – С. 189–192.
5. *Ковалевський А.А., Шевченко А. А., Строгова А. С.* Особенности окисления микро- и наноструктурных порошков кремния / А.А. Ковалевський, А.А. Шевченко, А.С. Строгова // Неорганические материалы. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 519–523.

THE OXIDATION PROCESSES IN *n*-Si STIMULATED BY MAGNETIC FIELD

L. Steblenko¹, O. Korduban², O. Koplak¹, P. Demchenko³

¹*T. Shevchenko National University of Kyiv
Volodymyrska Str., 64, Kyiv, Ukraine
e-mail: koplak_o@ukr.net*

²*G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics
Vernadsky Ave., 36, Kyiv, Ukraine*

³*I. Franko National University of L'viv,
Kyrylo and Mefodiy Str., 6, L'viv, Ukraine*

There were investigated the oxidation processes at the surface of monocrystal Cz-*n*-Si(111) and microstructural (MS) Si. The increasing of the oxygen concentration in average per 6% at the influence of the state weak magnetic field ($B=0,17$ Tl) is appealed by the chemical analysis of MS Si. The fact of oxide phase changing in MS Si after the magnetic treatment was proved by x-ray diffraction researches. The defective reactions between Si-, O-, OH- or chemical element groups lead in the subsurface Si lays because of chemical activity

upgrading and diffusion instability under the influence of magnetic field. As a result of this the defective structure recombination finds place and effects the oxide phase capacity in the SiO₂ surface layer. The identified characteristic properties of the Si surface oxidation processes stimulated by magnetic field are connected with the flowing of several alternative processes in its subsurface lays.

Key words: silicium, magnetic field, oxidation.

МАГНИТОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОКИСЛЕНИЯ В n-Si

Л. Стебленко¹, О. Кордубан², О. Коплак¹, П. Демченко³

¹Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
ул. Владимирская, 64, Киев, Украина

²Институт металлофизики имени Георгия Курдюмова
бульв. Вернадского, 36, Киев, Украина

³Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Кирилла и Мефодия, 6, Львов, Украина

Исследованы процессы окисления на поверхности монокристаллического Cz-n-Si(111) и микроструктурированного (МС) кремния. Проведенный химический анализ МС Si свидетельствует о увеличении концентрации кислорода в среднем на 6% в результате влияния слабого постоянного магнитного поля ($B=0,17$ Тл). С помощью рентгеновских дифракционных исследований было подтверждено факт изменения оксидной фазы в МС кремнии послемагнитной обработки. Вследствие вызванного магнитным полем усиления химической активности и диффузионной неустойчивости в приповерхностных слоях кремния происходят междефектные реакции между Si-, O-, OH-группами или группами химических элементов, следствием которых является перестройка дефектной структуры, которая сказывается на количестве оксидной фазы в поверхностной пленке SiO₂. Обнаруженные особенности магнитостимулированных процессов окисления поверхности кремния, связаны с протеканием нескольких альтернативных процессов в его приповерхностных слоях.

Ключевые слова: кремний, магнитное поле, окисление.

Стаття надійшла до редколегії 04.05.2010

Прийнята до друку 07.06.2010