

О.А. Кулініч

Вольт-амперні характеристики структур метал-хімічно-модифікований кремній-p-кремній

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Навчально-науковий виробничий центр
вул. Маршала Говорова, 4, м.Одеса, 65063, Україна, E-mail: ltech@elaninet.com

В роботі досліджувались вольт-амперні характеристики структур метал-хімічно-модифікований p-кремній, отриманий при обробці хімічним вибірковою травником приповерхневих шарів кремнію в структурах діоксид кремнію-кремній. Встановлено, що прямі струми залежать від напруги за законом $I \sim U^2$, що підтверджує інжекційний характер цих струмів, а на зворотні струми впливають властивості потенційного бар'єру Шоткі.

Ключові слова: кремній, метал, вольт-амперні характеристики, струмоперенос, дислокації

Стаття постуила до редакції 18.18.2005; прийнята до друку 15.05.2006.

Вступ

В останні роки велика кількість робіт присвячена технології отримання структур та дослідженням фізико-електричних властивостей таких як фото- та електролюмінесцентним поруватого кремнію та структур на їх основі [1,2]. Зразки поруватого кремнію, отримані методом електрохімічного травлення призводять до створення розпорядкованого кремнію з недобре вивченими характеристиками. Добре відомо, що прямі вольт-амперні характеристики контактів метал-поруватий p-кремній (поруватий шар p-кремнію отриманий методом електрохімічного травлення) не залежать від властивостей бар'єра Шоткі, а залежать від процесу подвійної інжекції електронів з металевого контакту в поруватий шар кремнію та дірок з p-кремнію [3]. Відомо, також, що властивості поруватого кремнію та структур на його основі залежать від методів його створення.

Мета роботи. Метою даної роботи є дослідження структурних властивостей хімічно – модифікованого кремнію, створеного методом термічного окислення p-кремнію з послідовним хімічним травленням та електрофізичних властивостей діодних структур метал хімічно – модифікований кремній –p- кремній на його основі. .

Об'єкт дослідження: вивчалася структура шарів хімічно –модифікованого кремнію, створених методом термічного окисування монокристалічного p-кремнію Чохральського ($N_p = 5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$)(111) при температурі 1150°C з послідовним травленням у плавиковій (HF) кислоті та вибіркового хімічному

травнику Сіртля з попередньою обробкою в суміші Каро та перекисноаміачному розчині [4]. Структури паладій (Pd)-хімічно-модифікований кремній-p-кремній виготовлялись методом термічного наплення в вакуумі (ВУП-5) на поверхню хімічно – модифікованого кремнію з послідовним відпалом в вакуумі при температурі 250°C і фотолітографією. (рис. 1).

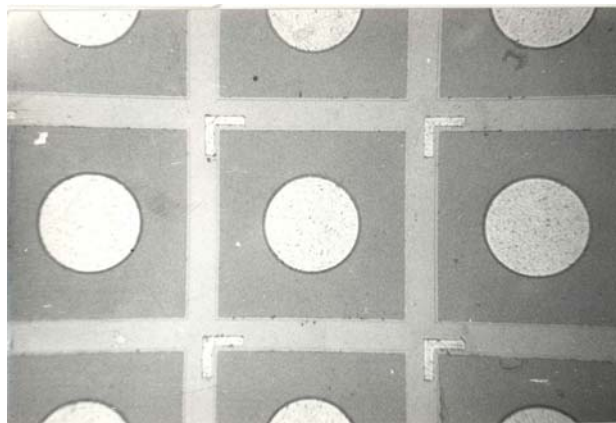


Рис. 1. Зображення досліджуваних контактів Pd – хімічно-модифікований кремній –p– кремній.

I. Методи дослідження та обладнання

Поверхня хімічно-модифікованого кремнію після зняття оксиду та обробці в вибіркового хімічному травнику Сіртля досліджувалась методами

електронної мікроскопії (за допомогою електронного скануючого мікроскопу „Cam-Scan” з рентгенівським мікроаналізатором „Link-860”), метод рентгенівської топографії, оптичним методом (за допомогою металографічного мікроскопу ММР-2Р) та за допомогою ОЖЕ-спектрометра LAS-3000 (діаметр пучка – 5 мкм). Властивості бар’єрних структур вивчалися електрофізичним методом зняття вольт-амперних характеристик за допомогою спеціально розроблених схем (рис. 2).

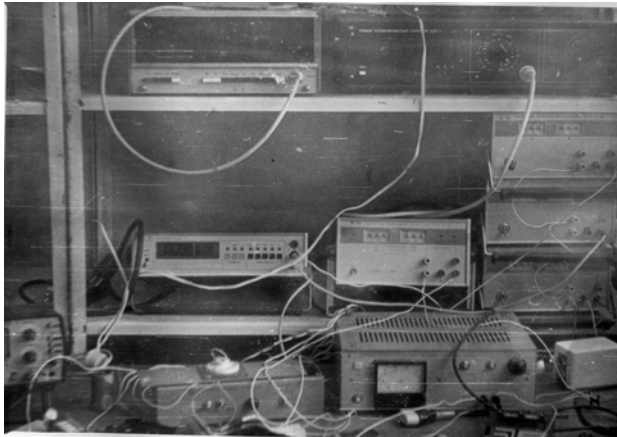


Рис. 2. Загальний виду пристроїв для вимірювання вольт-амперних характеристик.

II. Результати роботи та їх обговорення

На рис. 3 наведено типове зображення поверхні кремнію після зняття шару оксиду та обробки травником Сиртля протягом 0,5 хвилини, отримане за допомогою мікроскопу ММР-2Р. Добре видно, що типові ямки травлення, які характерні для дислокацій та дефектів пакування, відсутні. Наявні на поверхні кремнію ямок різної форми пов’язувались з витравлюванням осередків оксиду, які виникають при прискореній термодифузії оксиду вздовж структурних дефектів кремнію. Спроби отримати зображення поверхні Si за допомогою електронного мікроскопу „Cam-Scan” виявились невдалими. Це пов’язано з тим, що при опромінуванні пучком електронів поверхня кремнію сильно заряджувалась і не було змоги отримати пучок відбитих електронів. Вище викладене свідчить, що досліджуванні шари кремнію знаходяться у сильно розупорядкованому стані, який близький до дрібноблокованої або аморфної структури, та проявляють деякі діелектричні властивості. При дослідженні властивостей дрібноблокованої структури рентгенівським топографічним методом Фудживара встановлено, що сусідні блоки розорієнтовані під кутами до 1° . Причому, підвищення фону в окремих місцях топограм зв’язувалось з присутністю домішок металу і (або) кисню, що, також підтверджується результатами ОЖЕ-аналізу. При подальшому травленні поверхні кремнію (до 4 хвилини) травником

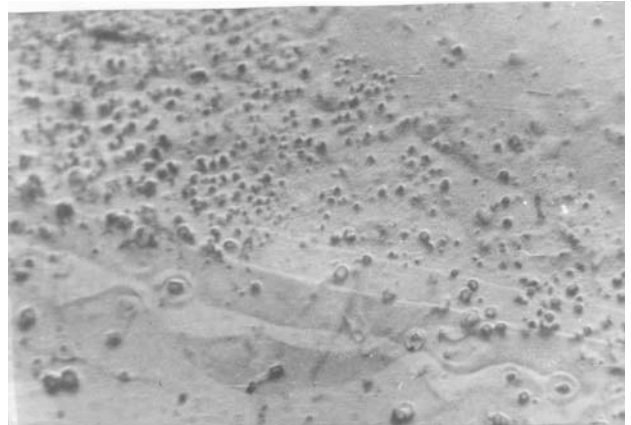


Рис. 3. Типове зображення поверхні оксидованого кремнію після зняття шару оксиду та обробки травником Сиртля (отримане за допомогою мікроскопу ММР-2Р).

Секко були виявлені дислокаційні сітки, які утворюють мозаїчну структуру кремнію (щільність дислокацій в сітках дорівнювала 10^{10} м^{-2}), які склались з 60° та часткових дислокацій, які були декоровані киснем (рис. 4). Виникаючі типові структурні дефекти свідчать про появу нормальної кристалічної структури Si. На рисунку 5 наведено

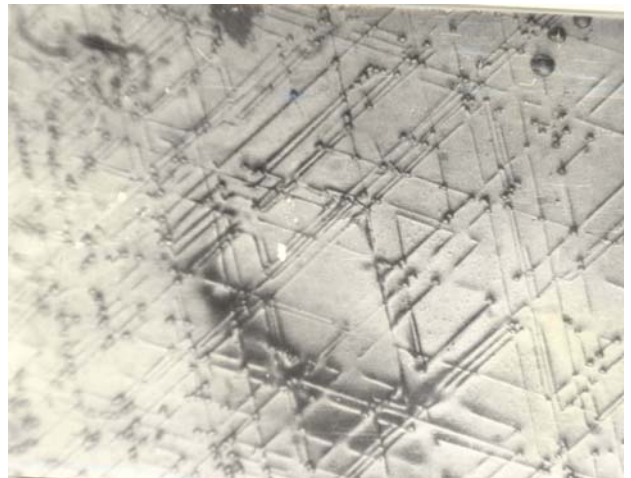


Рис. 4. Електронне зображення дислокаційних сіток (отримано при травленні поверхні кремнію травником Сиртля)

зображення збільшеної картини області дислокаційних сіток. Добре спостерігаються ділянки дрібного вертикально розташованого кремнію з розмірами порядку 10 нм. При травленні більш ніж 6 хвилин дислокаційні сітки зникали, а замість них проявлялися окремі дислокації та лінії сковзання (рис. 6). Встановлено, що товщини перехідних шарів, які склалися з дрібноблокованого кремнію та областей дислокаційних сіток, пропорційні товщинам оксидів, що зрозуміло, якщо пригадати, що збільшення товщини оксиду приводить до збільшення механічної напруги на межі розподілу, величина якої сильно перевищує поріг пластичної

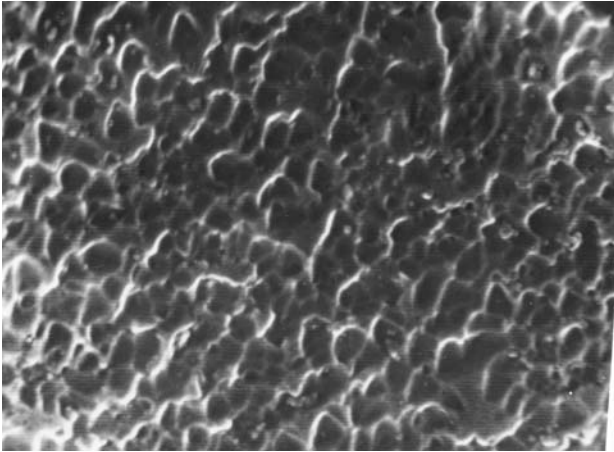


Рис. 5. Електронне збільшене зображення ділянки дислокаційних сіток (x 10000).

течії кремнію. На товщину перехідного шару, також впливає наявність структурних дефектів на поверхні вихідного кремнію. Збільшення щільності структурних дефектів приводить до збільшення кількості каналів прискореної дифузії кисню вздовж структурних дефектів з послідувачим утворенням оксиду, що і приводить до збільшення механічної напруги на межі розподілу.

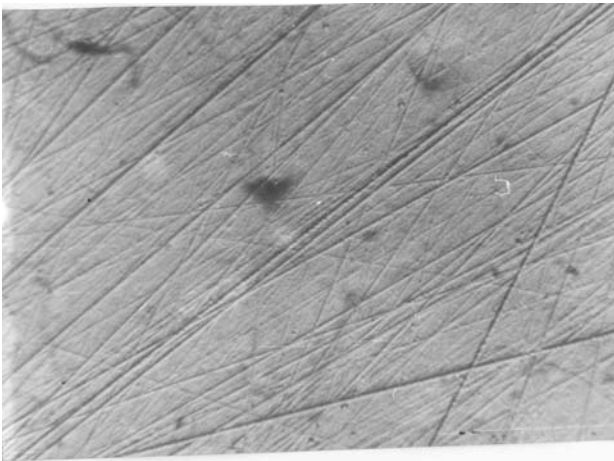


Рис. 6. Електронне зображення окремих дислокацій та ліній сковзання.

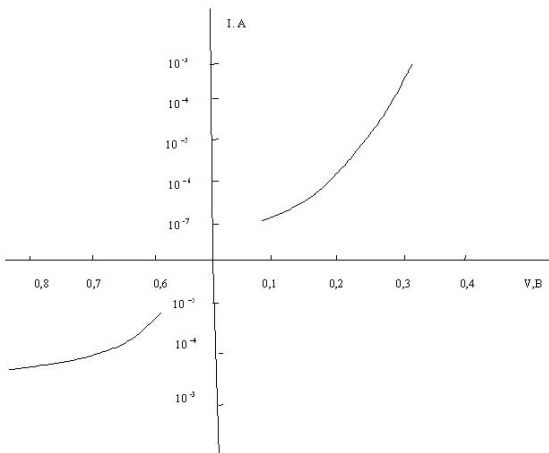


Рис. 7. Типові вольт амперні характеристики досліджуваних діодних структур Pd-хімічно-модифікований кремній-p-кремній.

Для створення діодних структур на поверхню кремнію с дислокаційними сітками (рис. 4) методом термічного напилення в вакуумі наносився шар паладію товщиною 500 нм з послідувачою фотолітографією з метою отримання окремих діодів. Методом вибіркового хімічного травлення встановлено, що товщина шару, в якому залягають дислокаційні сітки дорівнює 8 нм (при щільності дислокацій в вихідному кремнію 10^5 м^{-2} та товщині вихідного оксиду 1 нм). На рис. 7 наведена типова вольт амперна характеристика досліджуваних діодних структур при прямій та зворотній напрузі. Прямий струм змінювався з напругою як $I \sim U^2$, а зворотній як $I \sim \exp(\alpha |U|)$. З цього можна зробити висновок, що при прямих напругах бар'єр Шоткі не впливає на процес струмопереносу. На цей процес впливає механізм подвійної інжекції дірок з p-кремнію та електронів з металевого контакту в область дислокаційних сіток. Зворотний струм має експоненціальний характер, що свідчить про переважаючому впливі бар'єра Шоткі та дислокаційних бар'єрів на процес струмопереносу. Приблизну оцінку рухливості дірок в районі залягання дислокаційних сіток можна отримати, якщо застосувати вираз для щільності зворотного струму при насиченні в рамках дрейфово-дифузійної теорії [5]

$$\mu_p = J_p \epsilon_0 q^{-2} N_p^{-2} W \exp[\Phi_b/kT], \quad (1)$$

де J_p – щільність зворотного струму в насиченні, ϵ – проникність діелектрична, ϵ_0 – електрична постійна, q – заряд електрона, N_p – концентрація дірок, W – ширина зони просторового заряду, Φ_b – висота потенційного бар'єру метал-хімічно-модифікований кремній, T – температура. Для висоти потенційного бар'єру паладій-хімічно-модифікований кремній $\Phi_b = 0,74 \text{ eV}$ і для решти вищеописаних параметрів при $T = 300 \text{ K}$ можна отримати значення рухливості $\mu_p = 0,24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вс}$. Це значення значно менше (на три порядки) ніж для випадку звичайного бездислокаційного кремнію. Однак, можна згадати, що в області просторового заряду діода розташовані дислокаційні сітки, які складені з 60^0 дислокацій з щільністю до 10^{10} м^{-2} при взаємодії з якими рухливість має значно зменшитись. Значення рухливості дірок можна отримати, якщо взяти прямий розрахунок згідно з теорією Ріда [6] та з врахуванням взаєморозташування напрямку руху дірок та ліній дислокацій [7]

$$\mu_{pq} = q\tau_p(m^*)^{-1}, \quad \tau_{pq} = (3/8)(10RNv)^{-1}, \quad (2)$$

$$\mu_p^{-1} = \mu_{pq}^{-1} + \mu_{qf}^{-1},$$

де τ_{pq} – середній час при розсіянні дірок на дислокаціях, m^* – ефективна маса дірок, R – радіус просторового заряду дислокацій, N – щільність дислокацій, v – теплова швидкість дірок, μ_p – результуюча рухливість дірок, μ_{qf} – рухливість при розсіянні на фононах. Розрахунок за формулами (2) для нашого випадку давав значення рухливості $\mu_p = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вс}$, що добре співпадає в межах похибки з експериментально отриманим результатом.

Здійснені дослідження електрофізичних характеристик діодних структур метал-хімічно-

модифікований кремній-p-кремній дали можливість отримати інформацію про механізми струмопереносу в присутності розвинутої дислокаційної структури та експериментально отримати значення рухливості

носіїв заряду.

Кулініч О.А. – докторант, канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник.

- [1] Г.О. Сукач, П.Ф. Олексенко, П.С. Смертенко, А.М. Євстигнєєв. Інжекція заряду в пористому кремнії в діапазоні температур від 77 К до 400 К // *Фізика і хімія твердого тіла*, **6**(2), сс. 207-212 (2005).
- [2] О.А. Кулініч. Исследование фотолюминесцентных свойств химически-модифицированной приповерхностной области кремния в структурах оксид кремния-кремний // *Сенсор*, **2**, сс. 13-16 (2004).
- [3] С.В. Слободчиков, Х.М. Салихов, Е.В. Руссу, М.М. Мередов. Об электрических и фотоэлектрических свойствах структуры Pd-p⁰-Si-p-Si с разупорядоченным промежуточным p⁰ – слоем // *ФТП*, **31**(1), сс. 15-18 (1997).
- [4] О.А. Кулініч, А.А. Лисовская, Н.Н. Садова. О повышении выявляющей способности избирательного травления монокристаллов кремния // *УФЖ*, **35**(11), сс. 1691-1695 (1990).
- [5] В.И. Стриха, Е.В. Бузанева. *Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике*. М., Радио и связь (1987).
- [6] Г. Матаре. *Электроника дефектов в полупроводниках*. М., Мир (1974).
- [7] К. Рэйви. *Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии*. М., Мир (1984).

O.A. Kulinich

The Current-voltage Characteristics of Metal-chemistry-modify Silicon Structure-p-Si

*Training, Scientific-Investigation and Production Center at Mechnikov Odessa National University
4 Marshala Govorova str., Odessa 65063, Ukraine, E-mail: eltech@elaninet.com*

The current-voltage characteristics of metal chemistry-modify silicon –p silicon structure, which was received by chemical machining in etchant Si layers superficial at SiO₂-Si structures, was investigated in this work. It is established that the current depends on an electrical voltage according $I \sim U^2$. It confirms injection character of these currents. The reverse current is influenced with properties of potential Schottky barrier.