

УДК 621.315.592; 535.37

ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХНІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО n -InP

Сичікова Я.О., Кідалов В.В., Гайчук А.С.

Бердянський державний педагогічний університет, Бердянськ, Україна

E-mail: yanasuchikova@mail.ru

В роботі розглядається методика електрохімічного полірування монокристалу n -InP. Показано, що за умови використання у якості електроліту розчину плавикової та бромоводневої кислот, можна досягти високої якості полірованої поверхні. Представлено механізм неселективного електрохімічного травлення напівпровідників, результатом якого є отримання дзеркально гладкої поверхні.

Ключевые слова: поруватий InP, анодне травлення, дзеркально-гладка поверхня.

ВСТУП

Від стану поверхні напівпровідникового матеріалу, її дефектності залежить досконалість структури епітаксціальних та поруватих шарів нарощуваних на неї при виготовленні напівпровідникових приладів. Задачею полірування є усунення слідів попередньої обробки та різних поверхневих нерівностей (штрихів, подряпин, неглибоких раковин та інших дефектів) з метою отримання гладкої поверхні, що має високу здатність відбиття світла. Процедура полірування кристалу має критичне значення у тих випадках, коли від стану поверхні кристалу залежить якість подальшої обробки (наприклад, при виготовленні поруватих шарів). Навіть незначні дефекти мікронного порядку можуть значно впливати на перебіг всього технологічного процесу. Наприклад, в роботі [1] досліджувалося явище пороутворення фосфіду індію з нанесеними на його поверхню наноподряпинами. В результаті встановлено, що подряпини являють собою місцями першочергового утворення пор. Різні пояснення процесу полірування можна звести до наступних трьох напрямів:

- 1) механічне полірування – механізм процесу пояснюється «зчищенням» мікронерівностей з поверхневого шару, а хід процесу – такими механічними властивостями матеріалу, як твердість та пластичність.
- 2) хімічне полірування – процес пояснюється в основному видаленням оксидних плівок, що постійно утворюються під дією навколишнього середовища.
- 3) Фізичне полірування – основними причинами, що визначають процес вважають температуру плавлення та теплопровідність поліруючого матеріалу.

Кожен з цих типів полірування матеріалу має свої переваги та недоліки, але слід мати на увазі, що вибір типу залежить від матеріалу та вимогами до його чистоти та поверхневої досконалості.

Слід відмітити, що при використанні напівпровідників у якості сировини для виготовлення наноматеріалів, фізичні та механічні методи не являються ефективними, так як поверхня оброблюваного кристалу може мати рівень шорсткості, що не є допустимим в межах нанотехнологій.

У даній роботі представлено метод електрохімічної поліровки кристалів фосфіду індію. Відомо, що електрохімічне травлення напівпровідників, зокрема InP активно використовується для отримання поруватих та текстурованих структур [2 - 4]. Проте, змінюючи умови травлення, можливо проводити якісне полірування кристалів, що є не менш важливим технологічним аспектом сучасної нанотехнології.

1. ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Електрохімічне полірування відбувається занурюванням обробленою поверхні у ванну з хімічно активними розчинами, де в результаті виникаючих хімічних та локальних електрохімічних процесів відбувається розчинення напівпровідника. Всі процеси електрохімічного полірування супроводжуються активним виділенням газу та пару кислот (в залежності від складу травника). Одним з основних переваг електрохімічного полірування є його простота. До недоліків такого полірування можна віднести складність коректування (піддержування елементу) розчинів та малий термін їх служби.

Для експерименту були обрані зразки монокристалічного *p*-InP (100) з концентрацією носіїв $2,3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Як електроліт використалися розчини плавикової кислоти. Щільність струму вибиралася в діапазоні від 30 до 180 mA/cm^2 , час травлення від 5-30 хвилин. Катодом в електрохімічній комірці служить пластина платини.

При подачі напруги на електроди починається процес розчинення матеріалу. Розчинення відбувається переважно на виступах мікронерівностей поверхні в наслідок більш високої щільності струму на їх верхівках. Крім того, впадини між нерівностями заповнюються продуктами розчинення: оксидами, солями, що мають пониженою провідність. В результаті селективного розчинення, тобто більшої швидкості розчинення виступів, мікронерівності згладжуються і оброблювана поверхня набуває металевий блиск. Електрополірування покращує електрофізичні характеристики зразків, так як зменшується глибина мікротріщин, поверхневий шар оброблюємих поверхонь не деформується, виключаються термічне змінення структури, підвищується корозійна стійкість.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Процес поліруючого травлення може мати місце лише за умови гомогенності фізико-хімічних властивостей оброблювальної пластини напівпровідника. Для гомогенізації поверхні необхідно забезпечити умови, за яких швидкість електронного обміну між гетерогенними у фізико-хімічному відношенні точками поверхні буде більше або дорівнювати швидкості електронного обміну між цими точками і травником.

Згідно відомим теоріям ефект хімічного або електрохімічного полірування може бути досягнуто за умови, що в процесі травлення на поверхні напівпровідника утворюється в'язка плівка з продуктів розчинення напівпровідника. Такі плівки є гомогенними і мають велике значення питомого опору. Це призводить до

зменшення швидкості розчинення, яке в проходить через високоомну гомогенну плівку. Тому для досягнення ефекту поліровки необхідно застосовувати в'язкі розчини, часто при додаванні інгібіторів.

На рис. 1 зображено типову залежність щільності струму від напруги при електрохімічному поліруванні монокристалу фосфіду індію.

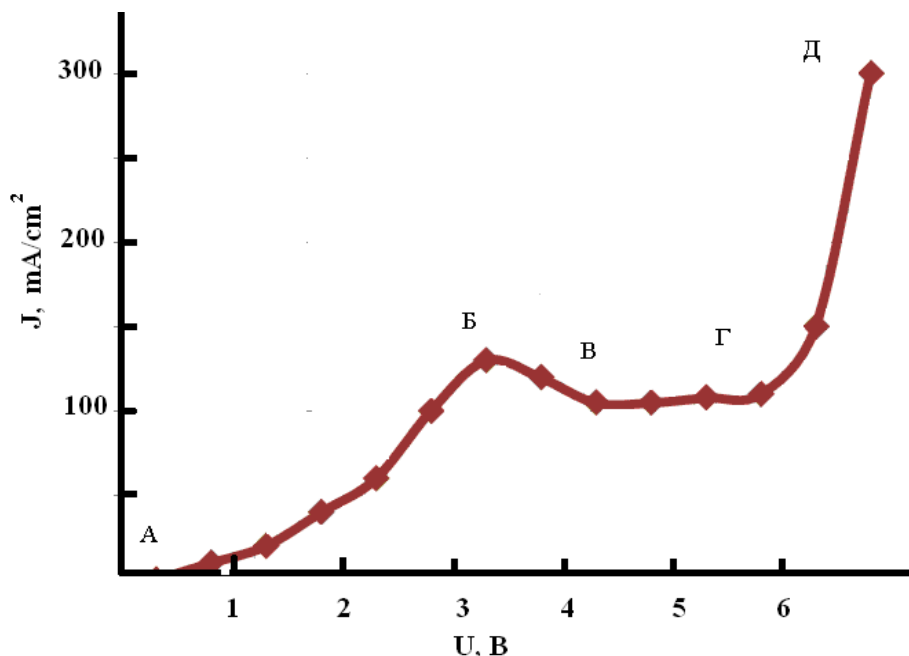


Рис. 1. Типова залежність щільності струму від напруги при електрохімічному поліруванні фосфіду індію.

На ділянці АБ підвищення щільності струму майже пропорційно збільшенню напруги. На ділянці БВ режим нестабільний, спостерігається коливання струму і напруги. Граничний струм, відповідний ділянці ВГ, характеризує процес формування на аноді пасивної плівки. При цьому підвищення напруги в досить широкому інтервалі не супроводжується зміною щільності струму. По досягненні напруги, відповідної точці повороту Г на кривій, починається новий процес – утворення газоподібного кисню. Залежно від концентрації електроліту та оброблюваного кристалу полірування ведуть при режимах, відповідних різним ділянкам кривої.

Слід зазначити, що на цей процес впливають різні чинники (стан поверхні, електроліт, режими травлення тощо).

На рис. 2 показано протікання процесу електрохімічного полірування. Завдяки спеціально підбраному складу електроліту і створюваним умовам (утворення плівки з підвищеного опору) розчинення здійснюється нерівномірно.



Рис. 2. Схема протікання електрохімічного полірування. 1 – кристал, 2 – окисна плівка підвищеного опору, 3 та 4 – макро- та мікрОВиступи відповідно.

У першу чергу розчиняються найбільш виступаючі точки 3 (виступи), внаслідок чого шорсткість зменшується, а потім зникає, і поверхня деталі стає гладкою і блискучою. Селективне розчинення елементів протікає з одночасним отриманням блиску.

Видалення великих виступів 3 називається макро-поліруванням, а розчинення мікроскопічно малих нерівностей 4 – мікро-поліруванням. Якщо макро- та мікро-полірування протікає одночасно, то поверхня набуває гладкості і блиск. У ряді випадків ці якості можуть бути незв'язаними один з одним, тобто блиск може досягатися без згладжування, а згладжування – без блиску. У процесі електрохімічного полірування на поверхні анода (полірованої деталі) утворюється окисна або гідроокисна плівка. Якщо ця плівка рівномірно покриває поверхню, то вона створює умови, необхідні для протікання мікро-полірування. Зовнішня частина цієї плівки безперервно розчиняється в електроліті. Тому для успішного проведення процесу необхідно створення умов, в яких існувало б рівновага між швидкостями утворення окисної плівки і швидкістю її хімічного розчинення з тим, щоб товщина плівки підтримувалася незмінною. Наявність плівки обумовлює можливість обміну електронами між поліруючим зразком та іонами електроліту без небезпеки місцевого руйнування кристалу агресивним електролітом. Макрополірування також є процесом, залежним від наявності прианодної плівки. Будучи більш товстою в поглибленнях і більш тонкою на виступах, ця плівка сприяє їх прискореному розчиненню, так як на виступах створюється більш висока щільність струму, а електричний опір над ними менший, ніж над поглибленнями. Ефективність дії плівки збільшується з підвищенням її внутрішнього опору.

Експериментально було встановлено, що для якісного полірування поверхні n -InP необхідно використовувати наступний електроліт: $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}:\text{HBr}=5:5:1$. При цьому для досягнення ефекту час процесу повинен складати 15 хв. При цьому для досягнення ефекту час процесу повинен складати 15 хв.

Зміна даного співвідношення у бік збільшення концентрації HF приводить до осадження на полірованій поверхні кристалітів, що містять значну долю фтору. Якщо концентрація плавикової кислоти нижча, то спостерігається розтравлювання поверхні а утворення поруватого шару. Використання бромоводневої кислоти є необхідною умовою для отримання дзеркально гладкої поверхні, за її відсутності зразки після полірування мають високий рівень шорсткості.

ВИСНОВКИ

Таким чином, при використанні травника для неселективного травлення фосфіду індію *n*-типу до складу якого входить плавикова та бромоводнева кислоти у вказаних вище концентраціях, можливим стає якісне полірування поверхні напівпровідника відмінної якості. Перевагою такого способу полірування є його низька вартість, легкість виконання, можливість обробляти партію зразків по всій поверхні злитків.

Список літератури

1. Masahiro Seo. Selective formation of porous layer on *n*-type InP by anodic etching combined with scratching / Masahiro Seo, Tadafumi Yamaya // *Electrochimica Acta*. -2005, 51. – с. 787–794.
2. Сычикова Я.А. Формирование регулярной пористой структуры *p*-InP / Сычикова Я.А., Кидалов В.В., Сукач Г.А. // *ФИП*. – 2010. – Т. 8, № 1. – с. 81-87.
3. Suchikova J.A. Morphology of porous *n*-InP (100) obtained by electrochemical method / Suchikova J.A., Kidalov V.V., Sukach G.A. // *Functional materials*. – 2010. – 17. №1. – p. 1-4.
4. Taketomo Sato. Electrochemical Formation of Size-Controlled InP Nanostructures Using Anodic and Cathodic Reactions / Taketomo Sato, Toshiyuki Fujino, and Tamotsu Hashizume // *Electrochemical and Solid-State Letters*. – 2007. – V. 10(5). – P. H153-H155.

Сычикова Я.А. Полирование поверхности монокристаллического *n*-InP / Сычикова Я.А., Кидалов В.В., Гайчук А.С. // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: Физико-математические науки. – 2010. – Т. 23(62), №3. – С. 182-186.

В работе рассматривается методика электрохимической полировки монокристалла *n*-InP. Показано, что при использовании в качестве электролита раствора плавиковой и бромоводородной кислот, можно достичь высокого качества полированной поверхности. Представлен механизм неселективного электрохимического травления полупроводников, результатом которого является получение зеркально гладкой поверхности.

Ключові слова: пористий фосфід індія, анодне травлення, зеркально гладкая поверхность.

Suchikova J.A. Polishing of monocrystalline *n*-InP / Suchikova J.A., Kidalov V.V., Gaichuk A.S. // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Physics and Mathematics Sciences. – 2010. – Vol. 23(62), No.3. – P. 182-186.

In this paper the method of electrochemical polishing of single crystal *n*-InP. It is shown that when used as an electrolyte solution of hydrofluoric and hydrobromic acids, can achieve high quality polished surface. The mechanism non-selective electrochemical etching of semiconductors, the result of which is to receive a mirror smooth surface.

Keywords: porous indium phosphide, electrochemical etching, a mirror smooth surface.

Поступила в редакцию 11.11.2010 г.