УДК 691.315.592

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛІНІЙ КОВЗАННЯ У КРЕМНІЄВИХ ЕПІТАКСІЙНИХ КОМПОЗИЦІЯХ

Бахрушин В.Є., Ольховий В.О.

Кремнієві епітаксійні композиції є основою для виготовлення широкого кола напівпровідникових приладів та інтегральних схем, у тому числі високовольтних діодів і транзисторів, фотоприймачів, різноманітних датчиків та інших. До найбільш суттєвих дефектів таких композицій відносяться дислокаційні лінії ковзання, що формуються під час осадження епітаксійного шару та інших високотемпературних операцій. Присутність похилих дислокацій викликає підвищення токів витоку у приладах [1], а утворення під час ковзання макроскопічних східців зсуву на поверхні композиції ускладнює перенесення рисунка з шаблону на поверхню при літографії [2].

Нами були досліджені деякі закономірності формування ліній ковзання у слабколегованих (концентрація фосфору $10^{13}...10^{14}$ $см^{-3}$, питомий електричний опір 1...50 Ом*см) автоепітаксійних шарах кремнію завтовшки 10...100 мкм. Шари осаджували за методом водневого відновлювання трихлорсилану [3] на полірованих з двох боків монокристалічних підкладинках КЭС-0,01, які мали орієнтацію поверхні (111), діаметр - 60...100 мм та товщину 350...500 мкм. Густину дислокацій у епітаксійному шарі вимірювали за металографічним методом після обробки селективним травлювачем Сіртла [4]. Лінії ковзання виявляли металографічно, або візуально при сфокусованому освітлюванні [4]. Наявність пагорбків росту, сипу, окислювання та розтравлювання поверхні контролювали візуально при сфокусованому освітлюванні [4]. Структурну досконаліть епітаксійних композицій контролювали за двома різними технічними умовами. У першому випадку (ТУ1) усі зразки з лініями ковзання вважались гідними. У другому (ТУ2) - відбраковували композиції, у яких сумарна довжина ліній ковзання була більша за діаметр композиції. Такі композиції надалі умовно називаються "композиціями з великою довжиною ліній ковзання". Знайти їх частку можна як відношення кількості композицій, що визнані придатними за ТУ2, до числа композицій, що визнані придатними за ТУ1. Для оцінки коректності такого способу визначення частки "композицій з великою довжиною ліній ковзання" нами були порівняні результати його використання з результатами, що одержані безпосереднім вимірюванням сумарної довжини ліній ковзання. Відповідні дані наведені на рис. 1. Як видно, відповідність результатів, отриманих за цими двома методами, є задовільною.

На рис. 2 наведений розподіл 128 партій композицій $\frac{22КЕФ3{,}0}{380КЕС0{,}01(111)}$ діаметром 60 мм (кожна партія містила 35 - 38 композицій, які були виготовлені в одному технологічному процесі) за часткою "композицій з великою довжиною ліній ковзання". Одержані результати свідчать про те, що такі композиції складають більшість зразків. Це показує актуальність дослідження механізмів та розробки методів запобігання формування ліній ковзання в кремнієвих епітаксійних композиціях.

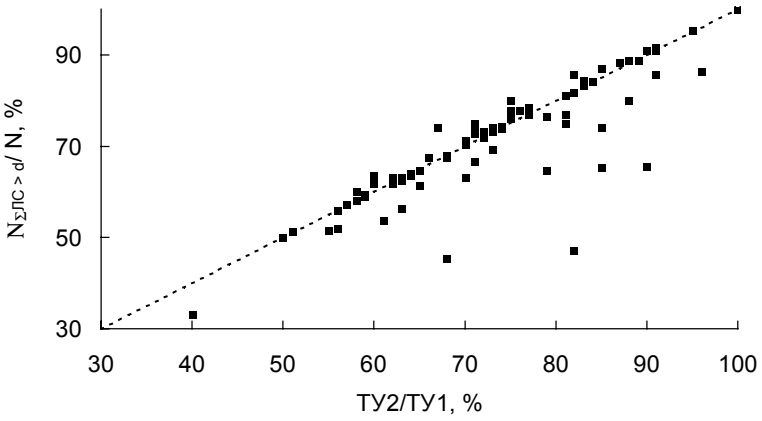

Рис. 1. Кореляція між результатами визначення частки "композицій з великою довжиною ліній ковзання" за різними методами.

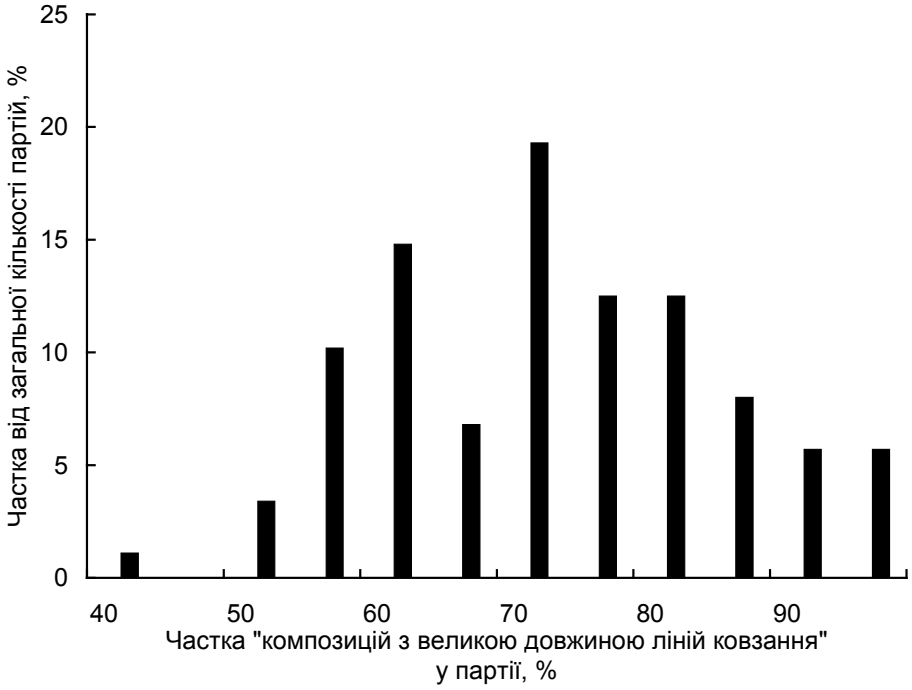

Рис. 2. Розподіл партій за часткою "композицій з великою довжиною ліній ковзання".

Нами був досліджений взаємозв'язок між густиною дислокацій в епітаксійному шарі та формуванням ліній ковзання. Одержані результати свідчать (рис. 3) про те, що в області малих густин дислокацій збільшення густини дислокацій перешкоджує розвитку ковзання та зменшує сумарну довжину ліній ковзання. Це можна пояснити тим, що дислокації, які формуються в епітаксійному шарі та підкладинці, є стопорами для дислокацій що ковзають та блокують їх рух. Зменшення частки "композицій з великою довжиною ліній ковзання" з ростом густини дислокацій в епітаксійному шарі для кремнієвих композицій, що одержані в близьких умовах, відмічалось також у роботі [5]. На рис. 4 показаний вплив середньої густини дислокацій в епітаксійному шарі на частки композиції, що визнані придатними за ТУ1 і ТУ2. Видно, що збільшення густини дислокацій призводить до збільшення придатних композицій не тільки за ТУ2, де це може бути пояснене зменшенням частки "композицій з великою довжиною ліній ковзання", але й за ТУ1. Тому викликало інтерес дослідження взаємозв'язку між наявністю ліній ковзання та формуванням поверхневих дефектів у кремнієвих епітаксійних композиціях.

На рис. 5 показаний зв'язок між часткою "композицій з великою довжиною ліній ковзання" в партіях з 38 зразків та часткою композицій, що були відбраковані з-за наявності поверхневих дефектів - пагорбків росту, сипу, окислення та розтравлювання поверхні. Усі проконтрольовані партії пластин були розподілені за трьома групами, для яких частка "композицій з великою довжиною ліній ковзання" знаходилась у межах 0 - 33 % (1 група, 41 партія), 33 - 67 % (2 група, 180 партій), 67 - 100 % (3 група, 44 партії).

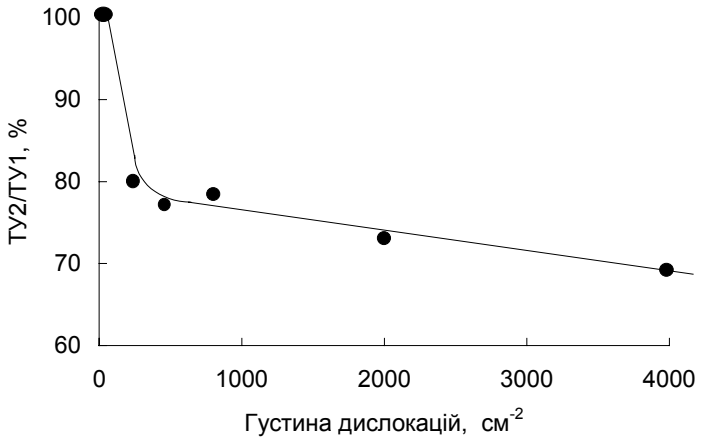

Рис. 3. Взаємозв'язок між часткою "композицій з великою довжиною ліній ковзання" та густиною дислокацій в епітаксійному шарі

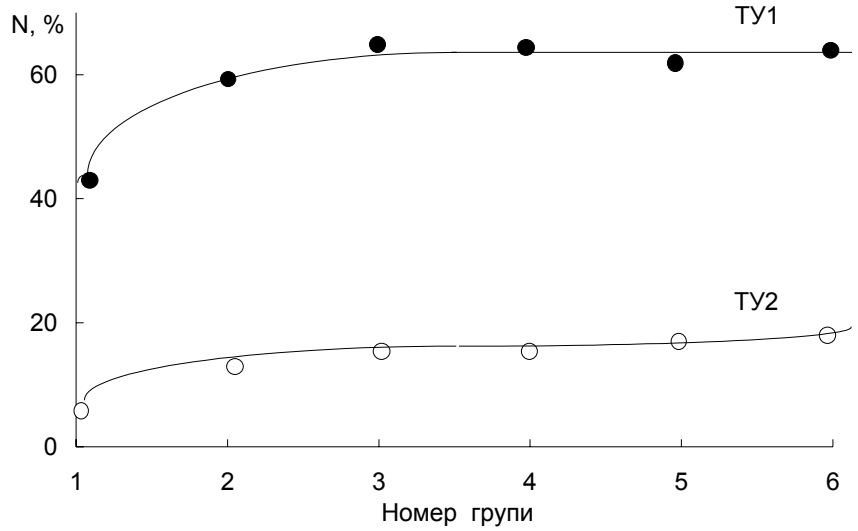

Рис. 4. Вплив густини дислокацій в епітаксійному шарі на вихід придатних композицій за ТУ1 й ТУ2. Густини дислокацій для груп: 0 - 300 $см^{-2}$ (1); 300 - 600 $см^{-2}$ (2); 600 - 900 $см^{-2}$ (3); 900 - 1200 $см^{-2}$ (4); 1200 - 1500 $см^{-2}$ (5).

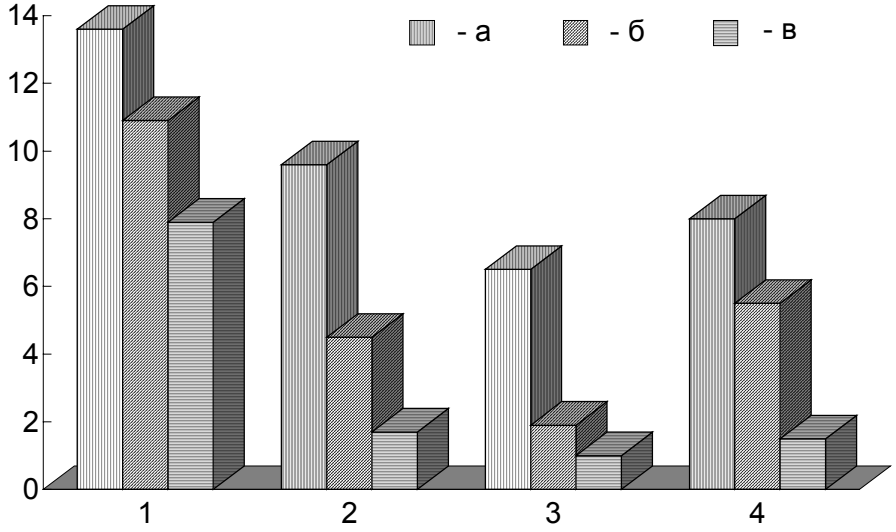

Рис. 5. Зв'язок між часткою "композицій з великою довжиною ліній ковзання" (< 33 % (а); 33 - 67 % (б); > 67 % (в)) та часткою композицій, що були відбраковані з-за наявності пагорбків росту (1), сипу (2), окислення поверхні (3), розтравлювання поверхні (4).

Наявність поверхневих дефектів визначалась візуально за стандартними методиками.

З рисунка 5 видно, що для усіх видів дефектів епітаксійного шару, що розглядались, імовірність їх утворення зменшується з ростом імовірності утворення ліній ковзання. За нашою думкою, це може бути пов'язане з тим, що коливання температури осадження різно впливають на формування різних дефектів. Імовірність формування ліній ковзання з ростом температури осадження має підвіщуватись, бо при цьому зменшується межа плинності кремнію. Пагорбки росту та сип з'являються завдяки утрудненню вбудови атомів у кристалічну гратку шару, що росте, біля забруднень та дефектів поверхні [6]. Підвищення температури сприяє переведенню процесу епітаксійного росту в область дифузійного контролю, що веде до зменшення впливу поверхні на формування морфології та структурної досконалості шару. Відповідно, зменшується імовірність утворення пагорбків росту та сипу [7]. Причиною окислення поверхні є взаємодія присутніх у парогазовій суміші водяних парів та кисню з

кремнієм [8]. Підвищення температури процесу зменшує імовірність окислення за рахунок зміни напрямку цих реакцій у бік відновлення кремнію [9]. Основною причиною розтравлювання поверхні є висока концентрація компонента, що містить хлор, у парогазовий суміші [6, 7]. При цьому кількість молекул компонента, що містить хлор, які підводяться до поверхні в одиницю часу, зростає, та процес росту змішується в область кінетичного контролю. Підвищення температури переводить його в область дифузійного контролю та зменшує імовірність розтравлювання поверхні під час осадження.

ВИСНОВКИ

Стандартна технологія одержання кремнієвих епітаксійних композицій не забезпечує одержання композицій, що не мають ліній ковзання.

Існує зворотна кореляція між імовірністю формування у кремнієвих епітаксійних композиціях ліній ковзання, з одного боку, та імовірностями утворення у них поверхневих дефектів, з другого.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии.- М.: Мир, 1984.- 475 с.
2. Таруи Я. Основы технологии сверхбольших интегральных схем.- М.: Радио и связь, 1985.- 480 с.
3. Бахрушин В.Е., Галкин П.Н., Токарев В.П. Получение кремниевых эпитаксиальных структур методом термического разложения трихлорсилана и дихлорсилана // Цветные металлы.- 1990.- N2.- С. 63 - 66.
4. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств. Справочник.- М.: Радио и связь, 1991.- 288 с.
5. Правдина О.В. Физико-технологическое моделирование процессов формирования монокристаллов и пленок полупроводников. Автореферат дисс. канд. техн. наук.- Херсон: ХИИ, 1992.- 24 с.
6. Нашельский А.Я. Производство полупроводниковых материалов.- М.: Металлургия, 1987.- 272 с.
7. Медведев С.А. Введение в технологию полупроводниковых материалов.- М.: Высшая школа, 1970.- 504 с.
8. Правдина О.В. Особенности процесса водородного восстановления трихлорсилана в присутствии паров воды // Компоненты и материалы электронной техники.- Киев: УМК ВО, 1989.- С. 4 - 12.
9. Технология СБИС: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. / Под ред. С. Зи. - М.: Мир, 1986.- 404 с.