

ПРУЖНЕ РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА ПОВЕРХНЕЮ ГЕРМАНІЮ ПРИ ВПЛИВІ МОЛЕКУЛЯРНОГО ТА АТОМАРНОГО ВОДНЮ

С.Д. Точилін

*Запорізький національний університет;
69600, м. Запоріжжя, Україна, вул. Жуковського, 66; тел. 289-41-16;
E-mail: tochno@zsu.zp.ua*

Отримано часові залежності пружного розсіювання світла поверхнею германію при обробці в молекулярному та атомарному водні. Встановлено зв'язок спостережуваних особливостей розсіювання світла з теорією. Експерименти подібного роду можна використовувати для контролю очищення та модифікації поверхні напівпровідникових матеріалів.

ВСТУП

Для очищення та модифікації поверхні твердих тіл використовують різні види обробки в активних газових середовищах [1]. Така обробка застосовується для ряду технологічних процесів при виробництві приладів електронної техніки.

Звичайно активна газова суміш реалізується в такий спосіб. Залежно від цілей та об'єкта впливу готується газова суміш певної сполуки (як правило, вона "пасивно" взаємодіє з твердим тілом). Потім у ній, при досить низькому тиску, створюється розряд.

У результаті розряду газова суміш стає "активною", тобто являє собою нерівноважну "холодну" плазму з певним набором заряджених та нейтральних часток, активно взаємодіючих з твердим тілом.

При цьому поблизу поверхні твердого тіла виникає інтенсивне масоперенесення. Тому така взаємодія активної газової суміші з поверхнею твердотільного об'єкта обробки називається вакуумно-плазмовим травленням [2].

Основна роль перетворення поверхні у вакуумно-плазмових процесах звичайно приділяється високоенергетичним та зарядженим часткам.

Дослідження останніх років показали, що для модифікації й очищення поверхні твердих тіл можуть бути використані атомні та молекулярні пучки [3].

Причому такий спосіб обробки має ряд переваг у порівнянні з обробкою в плазмі: матеріали в цьому випадку не піддаються інтенсивному тепловому та радіаційному впливу. Це дозволяє вважати таку обробку більш "м'якою".

Перспективним уявляється використання для модифікації та очищення поверхні твердого тіла атомарного водню. У результаті адсорбції атомів водню та наступної їхньої рекомбінації виділяється енергія 4,48 еВ на один акт рекомбінації [4]. Більша її частина передається поверхневим атомам кристалічної ґратки напівпровідника або атомам забруднень. У результаті можливі такі процеси: утворення летких сполук за участю атомів забруднень і водню та травлення поверхні.

Відзначимо також актуальність використання при виробництві приладів електронної техніки лазерних технологій та методів контролю [5].

У цій роботі нами було поставлене завдання показати можливість контролю за допомогою пружного розсіювання світла як процесу очищення металевих забруднень із поверхні германію, так і модифікації самої поверхні германію під дією молекулярного та атомарного водню.

ОСОБЛИВОСТІ ПРУЖНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА ОПТИЧНИМИ НЕОДНОРІДНОСТЯМИ

Розглянемо основні особливості пружного розсіювання світла на сферичних неоднорідностях із гладкою поверхнею, розташованих на дзеркальній поверхні твердого тіла.

Будемо вважати, що розмір цих неоднорідностей значно перевищує довжину хвилі λ світла (наближення геометричної оптики).

Відповідно до теоретичних уявлень [6] для малих концентрацій N , повністю відбиваючих світло оптичних неоднорідностей, інтенсивність пружного розсіювання J може бути представлена в такий спосіб:

$$J \sim J_0 G N \sim d^2 N, \quad (1)$$

де J_0 — інтенсивність падаючого світла, G — геометричний поперечний переріз неоднорідностей, d — діаметр неоднорідностей.

Вираз (1) також може бути використаний для знаходження інтенсивності пружного розсіювання світла при відбитті світла від дзеркальної поверхні, що має напівсферичні неоднорідності опуклої та увігнутої форми. У цьому випадку інтенсивність пружного розсіювання світла буде пропорційна площі S , що займають на поверхні неоднорідності, тобто пропорційна величині $(\pi d^2/4)N$ (тут N — концентрація півсфер на поверхні).

У випадку наближення геометричної оптики та розсіювання світла на неоднорідностях зі змінними

в часі концентрацією та діаметром, замість формули (1) треба використовувати вираз:

$$J(\tau) = kS(\tau) = k(\pi/4)d^2(\tau)N(\tau), \quad (2)$$

де k — постійний коефіцієнт; $J(\tau)$, $S(\tau)$, $d(\tau)$ і $N(\tau)$ — часові залежності інтенсивності пружного розсіювання світла, площі, діаметра та концентрації неоднорідностей відповідно.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для вирішення поставлених у роботі завдань ми використали дві групи зразків, одна з яких являла поліровані кристали германію, на які методом термічного випару у вакуумі наносилися плівки індію товщиною 0.1 мкм.

Друга — кристали германію із шорсткістю поверхні порядку 3 мкм.

Атомарний водень виготовлявся дисоціацією молекулярного водню у високочастотному розряді [7]. Джерелом молекулярного водню був електролізер, на виході якого стояла колонка з осушувачем. Тиск водню в системі дорівнював 30 Па, а концентрація його атомів у робочій камері досягала $\approx 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Температура зразків у робочій камері не перевищувала 320 К.

Для вивчення особливостей пружного розсіювання світла використалася оптична схема «на відбиття». При цьому випромінювання гелій-неонового лазера ($\lambda = 632,8 \text{ нм}$, $P \approx 25 \text{ мВт}$) фокусувалося на поверхню зразка в пляму діаметром 1 мм. Розсіяне випромінювання аналізувалося подвійним монохроматором ДФС-12. Спектральна ширина щілини становила величину $1,5 \text{ см}^{-1}$. Як приймач випромінювання використовувався фотопомножувач ФЭУ-106. Електричний сигнал, пропорційний інтенсивності розсіяного світла, з фотоелектронного помножувача подавався на вхід підсилювача постійного струму, а потім, після посилення, надходив на вхід самописного потенціометра КСП-4.

Стан поверхні додатково аналізувався за допомогою інтерференційного мікроскопа МІМ-7.

На рис. 1 показана залежність пружного розсіювання світла від поверхні структури In/Ge в процесі її обробки молекулярним (крива 1) та атомарним (крива 2) воднем.

Як видно із цього рисунка, часовий розвиток розсіювання світла не мав яких-небудь особливостей при впливі на поверхню структури, молекулярного водню (крива 1).

У той час, при впливі на поверхню структури In/Ge атомарного водню, інтенсивність розсіяного світла (крива 2) на початковому етапі обробки різко падала, а потім плавно зменшувалася, виходячи на насичення для $\tau \approx 7 \cdot 10^3 \text{ с}$.

Спостережувані особливості розсіювання світла в цьому випадку пояснюються в такий спосіб.

Під впливом атомарного водню плівка індію розпоршується та змінює свою форму.

При цьому, як виявляється, через час $\tau \approx 100 \text{ с}$ після початку обробки в атомарному водні, плівка індію на поверхні зразка трансформується в крапельки індію.

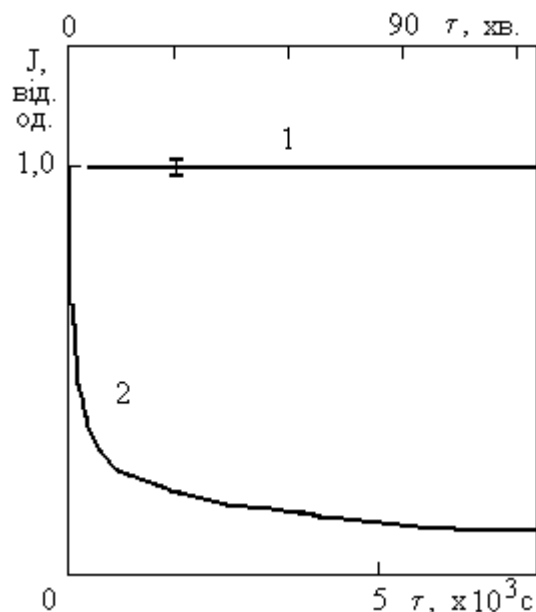


Рис. 1. Часовий розвиток інтенсивності пружного розсіювання світла структури In/Ge при обробці в молекулярному (1) та атомарному (2) водні

На наступній стадії процесу обробки розсіювання відбувається як від крапельок індію, так і від підкладки, що очистилася від плівки. Із часом інтенсивність розсіяного світла падає, прагнучи до межі, що дорівнює інтенсивності розсіяного світла від чистої підкладки.

На рис. 2 наведена залежність розсіювання світла шорсткуватою поверхнею Ge в процесі її обробки молекулярним (крива 1) та атомарним (крива 2) воднем.

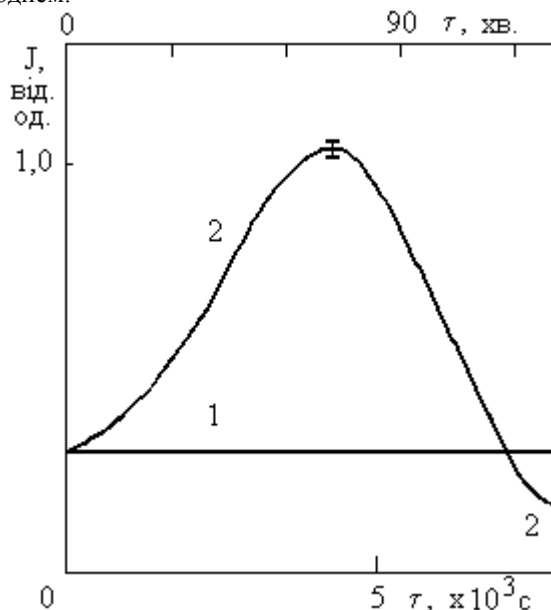


Рис. 2. Часовий розвиток інтенсивності пружного розсіювання світла поверхнею германію при обробці в молекулярному (1) та атомарному (2) водні

Як видно із цього рисунка, крива 1 отримана при впливі на поверхню германію молекулярного водню, не має яких-небудь особливостей. У той самий час крива 2 отримана при впливі на поверхню германію атомарного водню, має добре виражений максимум (при $\tau \cong 4,3 \cdot 10^3$ с).

Особливості поведінки кривої 2 пов'язуються нами з виникненням на поверхні Ge, у процесі дії атомарного водню, великої кількості ямок травлення (розміром порядку 10 мкм) та їхнім укрупненням у ході експерименту [8].

Відзначимо, що спостережувані зміни структури In/Ge та германію, у процесі їхньої обробки в атомарному водні, можуть бути зумовлені як утворенням летучих водневих сполук (InH, GeH), так і безпосереднім випаром поверхневих атомів, за рахунок енергії рекомбінації атомарного водню [8].

Спостережувані часові особливості пружного розсіювання світла перебувають у якісній згоді з висновками теорії.

Дійсно, зі збільшенням часу обробки в атомарному водні функція $S(\tau)$ у випадку структури In/Ge, є монотонно спадаючою (за рахунок видалення індію з поверхні германію площа, зайнята неоднорідностями на поверхні германію, постійно зменшується).

У той самий час, особливості функції $S(\tau)$ для шорсткуватої поверхні германію при її обробці в атомарному водні визначаються часовим поведінням залежностей $d(\tau)$ та $N(\tau)$. У цьому випадку функція характерного розміру неоднорідностей $d(\tau)$ є монотонно зростаючою, навпроти залежність $N(\tau)$ є монотонно спадаючою (кількість ямок на поверхні Ge постійно зменшується за рахунок їхнього укрупнення).

Відповідно до особливостей залежностей $S(\tau)$, $d(\tau)$ та $N(\tau)$, характерними для обробки зразків в атомарному водні, функція $J(\tau)$, з виразу (2), буде монотонно спадати з часом для випадку пружного розсіювання світла від поверхні структури In/Ge та мати максимум при $\tau \neq 0$ при розсіюванні світла від шорсткуватої поверхні германію.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у результаті виконаних досліджень показана можливість використання пружного розсіювання світла для контролю взаємодії поверхні твердого тіла з активним газовим середовищем.

Встановлено зв'язок спостережуваних експериментальних залежностей із теорією пружного розсіювання світла.

Отримані результати можна використати для оптимізації ряду технологічних процесів виробництва приладів електронної техніки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Б.С. Данилин, В.Ю. Киреев. *Применение низкотемпературной плазмы для очистки и травления материалов*. М.: «Энергоатомиздат», 1987, 156 с.
2. В.Ю. Киреев, Б.С. Данилин, В.И. Кузнецов. *Плазмохимическое и ионно-химическое травление микроструктур*. М.: «Радио и связь», 1983, 128 с. (Массовая библиотека инженера «Электроника», вып. 36).
3. *Плазменная технология в производстве СБИ* / Под ред. Н. Айнспрука, Д. Брауна. М.: «Мир», 1987, 472 с.
4. В.А. Соколов, А.Н. Горбань. *Люминесценция и адсорбция*. М.: «Наука», 1969, 188 с.
5. А.М. Василевский, М.А. Кропоткин, В.В. Тихонов. *Оптическая электроника*. Л.: «Энергоатомиздат», 1990, 176 с.
6. Г. Ван де Хюлст. *Рассеяние света мелкими частицами*. М.: «Мир», 1961, 536 с.
7. Ф.Ф. Волькенштейн, А.Н. Горбань, В.А. Соколов. *Радикалорекомбинационная люминесценция*. М.: «Наука», 1976, 278 с.
8. В.П. Пінчук, В.Г. Корніч, О.М. Горбань. Про фігури травлення на деяких напівпровідниках під дією атомарного водню // *УФЖ*. 1975, т. XX, в. 11, с. 1891-1894.

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА ПОВЕРХНОСТЬЮ ГЕРМАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО И АТОМАРНОГО ВОДОРОДА

С.Д. Тоцилин

Получены временные зависимости упругого рассеяния света поверхностью германия при обработке в молекулярном и атомарном водороде. Установлена связь наблюдаемых особенностей рассеяния света с теорией. Эксперименты подобного рода можно использовать для контроля очистки и модификации поверхности полупроводниковых материалов.

ELASTIC SCATTERING OF LIGHT BY A SURFACE GERMANY AT INFLUENCE OF MOLECULAR AND ATOMIC HYDROGEN

S.D. Tochilin

The temporary dependences for elastic scattering of light by a surface Germany at processing in molecular and atomic hydrogen have been investigated. The features of light scattering correspond to conclusions of the theory. The experiments of a similar sort can be used for the control of clearing and updating of semiconductor materials surface.