УДК 535.361

ТИМЧАСОВИЙ РОЗВИТОК ПРУЖНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА ПОВЕРХНЕЮ КРЕМНІЮ ПРИ ФОРМУВАННІ ПОРУШЕНОГО ПРОШАРКУ

Точилін С.Д., к.ф.-м.н., доцент, Точилін Д.С., студент

Запорізький державний університет

У даний час до матеріалів електронної техніки, як правило, ставлять дуже високі вимоги до ступеня досконалості їхньої кристалічної структури, зумовлену наявністю в матеріалі різноманітного роду дефектів.Технологія вирощування монокристалів, розроблена останнім часом, дозволяє одержувати монокристали без лінійних дефектів (дислокацій) [1]. У цьому випадку вплив точкових дефектів (домішок, вакансій) на властивості матеріалу істотно зростає. При відсутності лінійних дефектів, що є для точкових своєрідним колектором, відбувається постійне зростання концентрації точкових дефектів у монокристалі при виконанні над ним техпроцесса виготовлення виробу.

З метою зниження впливу точкових дефектів на електрофізичні властивості монокристалів розроблені методи гетерування точкових дефектів, що полягають у накопиченні точкових дефектів у визначених областях монокристала або у видаленні дефектів із нього. Характеристики і технологія цих методів докладно розглянуті в роботі [2].

Останнім часом широке розповсюдження одержав метод гетерування дефектів за допомогою порушеного прошарку напівпровідникового матеріалу, створеного за допомогою його обробки сфокусованим лазерним випромінюванням. У цих цілях звичайно застосовуються імпульсні твердотільні лазери [2].

У цій роботі була поставлена задача дослідження тимчасового розвитку пружного розсіювання світла поверхнею полірованої пластини монокристаличного кремнію з орієнтацією (111) при формуванні гетеруючого прошарку. Пластини мали форму диска діаметром 75 мм і товщиною 0,4 мм.

Схематично експериментальна установка для нанесення гетеруючого прошарку зображена на рис.1.

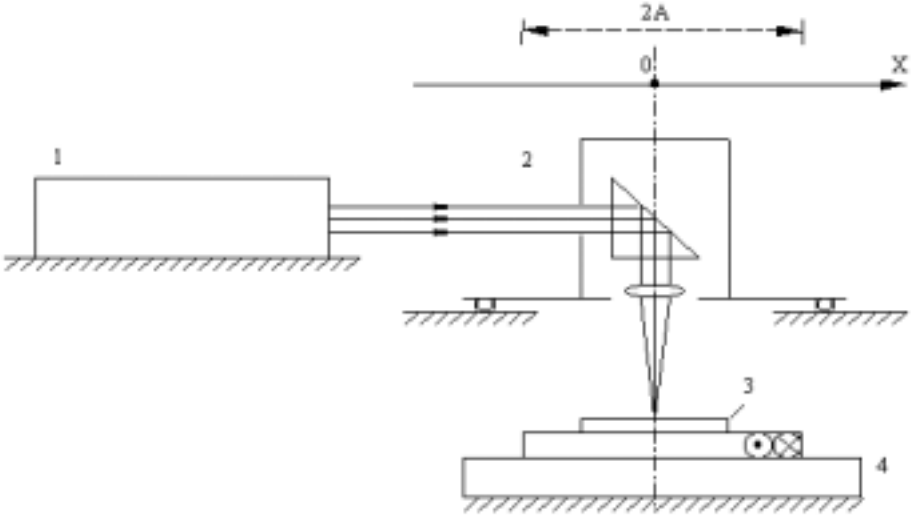


Рис.1. Установка гетерування поверхні напівпровідників. 1 - ИАГ-Nd^{3+}-лазер, 2 - рухома оптична система, що складається з поворотної призми і конденсора , 3 - пластина кремнію, 4 - оптичний столик.

У ній був використаний твердотільний лазер на ітрієво-алюмінієвому гранаті з домішкою неодима, що працювала в режимі з модульованою добротністю. Частота повторення імпульсів лазерного випромінювання могла набувати значення ν_1 = 12,5 Гц, ν_2 = 25 Гц, ν_3 = 50 Гц. Тривалість імпульсів мала розмір 10 нс. При формуванні порушеного прошарку щільність потужності імпульсів лазерного випромінювання мала значення $\omega_0 = 5 \cdot 10^9$ Вт/см^2 . Оцінка значення ω здійснювалася з використанням вимірювача середньої потужності й енергії лазерного випромінювання ИМО-2Н.

При нанесенні гетеруючого прошарку, конденсор разом із поворотною призмою переміщався уздовж осі за законом $X = A\sin\Omega t$, де X зсув по осі OX щодо точки O, $A = 4{,}15 \cdot 10^{-2}$ м, $\Omega = \pi / 25$ с$^{-1}$ t – час обробки. Порушений прошарок складався з лунок діаметром ~ 75 мкм і глибиною ~ 10 мкм. Гетеруючий прошарок являв собою рівнобіжні смуги лунок, розташовані на відстані 1 мм один від одного.

У процесі формування гетеруючого прошарку (до шести смуг лунок) нами були отримані тимчасові залежності пружного розсіювання світла. При цьому використовувалося випромінювання гелій-неонового лазера (λ = 632,8 нм, P = 50 мВт) і спектрометр ДФС-24, настроєний на довжину хвилі λ. Дослідження проводилися з застосуванням оптичної схеми «на відбиття». При цьому лазерне випромінювання падало на пластину у вигляді рівнобіжного пучка, що освітлював на ній квадратну площадку з площею 1 см^2. Це досягалося попереднім збільшенням діаметра лазерного пучка до ~ 3 см і установкою на шляху лазерного випромінювання непрозорого екрана з отвором прямокутної форми. Розсіяне випромінювання збиралося конденсором і фокусувалось на вхідній щілині спектрометра.

На рис.2 подані тимчасові залежності інтенсивності пружного розсіювання світла J, отримані при формуванні гетеруючого прошарку на досліджуваній ділянці поверхні пластини кремнію, при щільності потужності лазерного випромінювання ω і частоті проходження імпульсів ν_1, ν_2, і ν_3 – залежності 1, 2 і 3 відповідно.

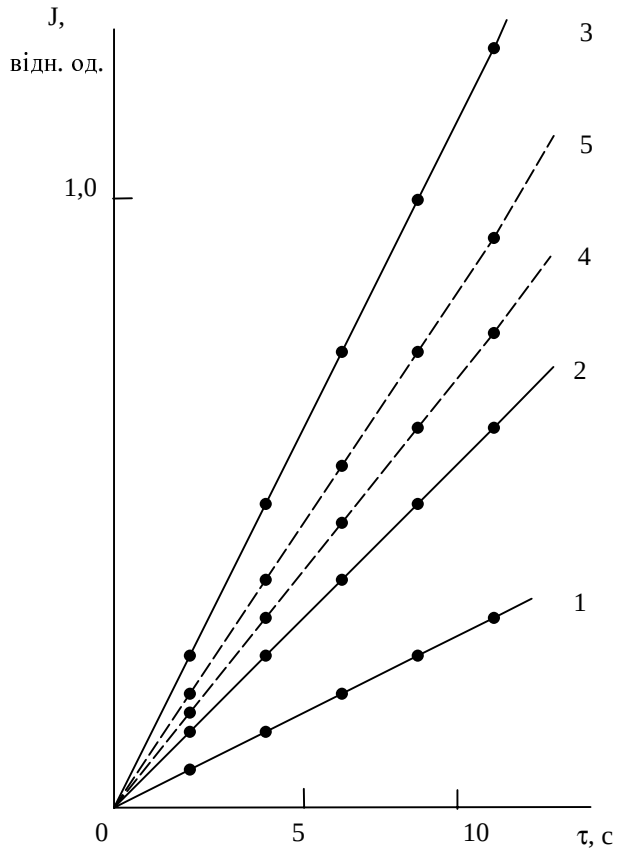


Рис.2. Тимчасовий розвиток пружного розсіювання світла при формуванні гетеруючого прошарку на поверхні кремнію. 1, 2, 3 – залежності, отримані при частоті проходження імпульсів лазерного випромінювання ν рівної 12,5 Гц, 25 Гц і 50 Гц відповідно (щільність потужності лазерного випромінювання ω), 4, 5 – при $\omega_1 = 1{,}5\omega_0$ і $\omega_2 = 2{,}0\omega_0$ відповідно ($\nu = \nu_2$ = 25 Гц). Точки на рисунку - експериментальні значення J.

Як очевидно з цього рисунка, обговорювані залежності характеризуються лінійним зростанням J із часом, проте мають різноманітний нахил до тимчасової осі. При цьому найбільше різкий рост має залежність 3, отриману для ν_3, а найбільше повільний – залежність J, отримана для ν_1. Відзначимо при цьому, що для довільного моменту часу, що лежить у досліджуваному інтервалі, виконується співвідношення $\nu_1 : \nu_2 : \nu_3 = J_1 : J_2 : J_3$ (где J_1, J_2 и J_3 – інтенсивність пружного розсіювання світла для залежностей 1, 2 і 3 відповідно, для того самого моменту часу).

Крім того, на рис.2 у вигляді штрихових прямих подані залежності J від часу, отримані при формуванні гетеруючого прошарку на досліджуваній ділянці поверхні пластини кремнію при частоті повторення імпульсів лазерного випромінювання ν_1 і його щільності $\omega_1 = 1{,}5\omega_0$ і $\omega_2 = 2{,}0\omega_0$ – залежності 4 і 5 відповідно.

Як очевидно з цього рисунка, залежності 4 і 5 також як і 1, 2, 3, характеризуються лінійним зростанням J від часу обробки. При цьому, більше зростання із часом має залежність 5, отримана при більшому значенні щільності потужності лазерного випромінювання, ніж залежність 4.

Спостережені особливості тимчасового розвитку пружного розсіювання світла, при формуванні гетеруючого прошарку, можуть бути пояснені на основі припущення про пропорційність J числу лунок у порушеному прошарку n . У цьому випадку вираз для J має вигляд:

$$J = J_0 n = J_0 \nu t \qquad (1)$$

де J_0 – інтенсивність пружного розсіювання світла одною лункою гетеруючого прошарку.

Вираз (1) указує на лінійну залежність J від t. З (1) також слідує співвідношення $J_1 : J_2 : J_3 = \nu_1 : \nu_2 : \nu_3$, справедливе для довільного моменту обробки.

У той же час із зіставлення залежностей 1 і 2 із 2, 4 і 5, випливає, що тимчасовий розвиток пружного розсіювання світла J більш істотно залежить від ступеня зміни частоти імпульсів лазерного випромінювання, ніж його щільності потужності.

Таким чином, нами були отримані тимчасові залежності пружного розсіювання світла при формуванні порушеного прошарку на досліджуваній ділянці поверхні пластини монокристаличного кремнію. Встановлено їхні особливості при різноманітних режимах лазерної обробки.

Проведені дослідження вказують на можливість застосування тимчасових залежностей пружного розсіювання світла для контролю й оптимізації формування гетеруючих прошарків за допомогою лазерної обробки напівпровідникових матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. - М.: Высшая школа, 1983. - 423 с.
2. Лабунов В.А., Баранов И.Л., Бондаренко В.Г., Дорофеев А.М. Современные методы геттерирования в технологии полупроводниковой электроники // Зарубежная электронная техника.- 1983. - №11(270). - С. 3-66.