

ЛЕВАШЕНКО Г.І., ГОДОВАНЮК В.М.,  
МАЗАСВ М.В., ШИМАНІВСЬКИЙ О.Б.

## **БАГАТОЕЛЕМЕНТНИЙ КРЕМНІЄВИЙ ФОТОДІОД «РАДУГА»**

Описано 31-елементний фотодіод, який виконано на кристалі кремнію по планарно-дифузійній технології для нефелометрії. Фоточутливі елементи розташовані по концентричним дугам, які утворюють неповні кільця різної ширини і довжини навколо отвору, біля якого встановлено додатковий приймач випромінювання.

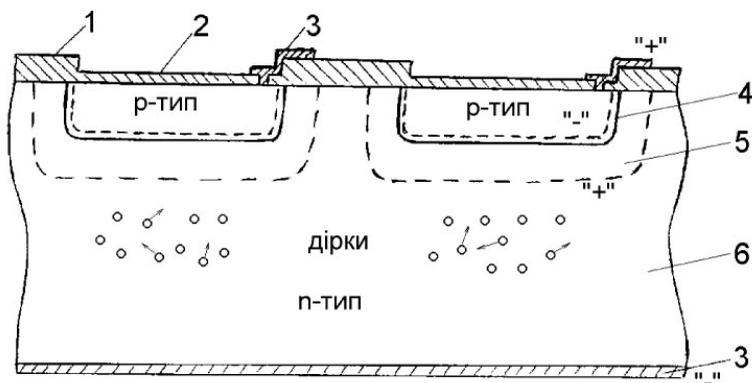
В нефелометрії, при вимірюванні індикатриси розсіяння для визначення параметрів дисперсних середовищ шляхом розв'язування оберненої задачі розсіяння світла, як правило, використовується принцип скануючої діафрагми, коли розсіяне випромінювання контролюється послідовно при різних кутах. Для зменшення похибки вимірювання індикатриси розсіяння доцільно використовувати принцип одночасної реєстрації прямо заломленої і розсіяної долі зонduючого випромінювання за допомогою багатоелементного приймача випромінювання. Однак використання ПЗС-матриці неможливе внаслідок неприйнятної для цієї мети топології фоточутливих елементів (ФЧЕ), а також можливого засвічення їх відбитою частиною падаючого пучка зонduючого (лазерного) випромінювання.

Дана робота присвячена опису багатоелементного фотодіода «Радуга» спеціально розробленого для нефелометрії.

Фотодіод «Радуга» виконаний на кристалі кремнію розмірами 35·28,5 мм за планарно-дифузійною технологією [1]. При виборі матеріалу для приймача випромінювання враховувалася спектральна область, для якої існують надійні лазерні джерела неперервного випромінювання, добре розвинута технологія

отримання кристалу і р-п структур, а також високі і стабільні експлуатаційні параметри кремнієвих фотоприймачів [2]. Підкладка виготовлена з кристалу КЕФ 7,5/15-62,5 ТУ 48-4-295-82. На кристалі легованого кремнію n-типу формувалися базові фото-чутливі області р-типу товщиною 1,5 мкм шляхом високо-температурного окислення, травлення і дифузії бору з використанням фотолітографії. Конструкція фрагменту фотодіода «Радуга» в розрізі приведена на рис.1. Провітлюючий шар окислу базових областей ФЧЕ оптимізовано на мінімум відбитого світла з  $\lambda=0,63$  мкм. Контакт з базовою областю здійснено за допомогою плівки алюмінію, отриманою методом напилення, травлення і впалювання. Контакт з колекторною областю виконано у вигляді плівки нікелю з підшаром хрому.

Рис.1 Конструкція фрагменту фотодіода «Радуга»



- 1 – захисний шар SiO<sub>2</sub>, 2 – провітлюючий шар,  
 3 – металізовані контакти, 4 – базова область,  
 5 – область об'ємного заряду, 6 – колектор.

Особливістю виготовлення кристалу є наявність в центрі отвору, який створювався методом наскрізного анізотропного травлення під захистом окислу з елементами фотолітографії. Другою особливістю є оригінальна топологія ФЧЕ (рис.2).

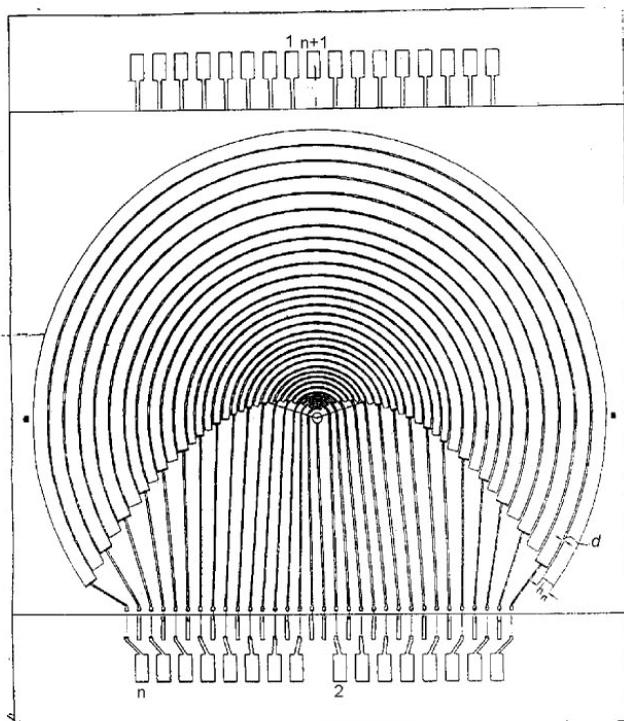


Рис.2. Топологія фотодіоду «Радуга»

1....n – номери ФЧЕ, n+1 – отвір для центрального ФЧЕ,  
 $h_n$  – ширина ФЧЕ, d – відстань між ФЧЕ по радіусу.

Фоточутливі елементи в кількості  $n=31$  розташовані по концентричним дугам так, що утворюються неповні кільця. Ширина перших (від центру) п'яти ФЧЕ рівна 0,1 мм, а наступних "п'ятірок" складає відповідно 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8 мм. Відстань між ФЧЕ в радіальному напрямку рівна 0,1 мм. Площа ФЧЕ по мірі віддалення від центру збільшується більш ніж на три порядки величини. Кристал закріплюється струмопровідним клеєм на ситалову підкладку з отвором, яка встановлена на склотекстолітовій пластині з отвором. Центральний отвір фотодіода призначений для встановлення додаткового фотодіоду, який вимірює прямо заломлене випромінювання. Струмопровідні виводи ФЧЕ співпада-

ють із стандартним розняттям МРН 22-2. Основні параметри фотодіоду «Радуга» приведено в таблиці.

Параметр, одиниця вимірювання	Значення параметру
Число ФЧЕ, $n+1$	31-1
Розмір ФЧЕ, $\text{мм}^2$	0,042-55,6
Оптимальна довжина хвилі, $\text{мкм}$	0,63
Струмова чутливість ( $\lambda=0,63 \text{ мкм}$ )	0,38
Темновий струм для ФЧЕ <sub>31</sub> ( $U=10 \text{ мВ}$ ), $\text{нА}$	0,2
Коефіцієнт фотоелектричного зв'язку між ФЧЕ, %	5
Ємність ФЧЕ <sub>31</sub> , $\text{пф}$	5000
Постійна часу, $\text{с}$	$10^{-5}$
Рекомендований режим експлуатації	фотогальванічний

Фотодіод «Радуга» в фотогальванічному режимі роботи не вимагає джерела живлення і забезпечує малі шуми. Розходження чутливості струму ФЧЕ, а також зміна позиційної чутливості ФЧЕ, виміряні за допомогою світлового зонду діаметром 100  $\text{мкм}$ , не перевищують 10 %.

Випробовування декількох фотодіодів при суцільному рівномірному засвічуванні їх неселективним дифузно розсіяним випромінюванням і селективним випромінюванням від точкового джерела показали, що відхилення від прямої пропорційності між фотосигналом і геометричною площею окремих ФЧЕ може бути значним і досягати для крайніх ФЧЕ 30%. Це відхилення обумовлено відмінністю реальних площ ФЧЕ від їх розрахункового значення і нерівномірністю позиційної чутливості ФЧЕ. Тому для врахування зміни чутливості ФЧЕ, пов'язаної із зміною їх площ  $S_n$  і необхідної при вимірюванні індикатриси розсіяння, недостатньо використовувати розрахунковий геометричний параметр  $A_n=S_{31}/S_n$ . Необхідне калібрування приймача по напрузі фотосигналу  $U_n$  при суцільному рівномірному засвітленні всіх ФЧЕ. Вимірний

параметр  $A_n' = S_{31}/S_n$ , де  $n=1...31$ , задається у вигляді таблиці для кожного фотодіоду.

Фотодіод «Радуга» є стійким до механічних і кліматичних впливів по ГОСТу 25467-82.

Найкращі результати по зняттю сигналів з ФЧЕ приймача досягаються за допомогою операційного підсилювача з високим вхідним опором, низьким рівнем зміщення вихідної напруги і резистором в колі зворотного зв'язку 30...50 кОм.

Фотодіод «Радуга» розроблено і виготовлено ВАТ «ЦКБ «Ритм» (м. Чернівці) сумісно з Інститутом фізики АН Білорусії. На базі фотодіоду «Радуга» в ОКБ «Аксикон» Інституту фізики АНБ виготовлено автоматизований нефелометр для експресного визначення дисперсного складу частинок (клітин) мікронних розмірів, зважених в рідині [3].

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем.- М.: 1988, 630с.
2. Гаспарян Ф.В. и др. Кремниевые фотоприемники. - Ереван: Гос. ун-т, 1989, 362 с.
3. Левашенко Г.И., Мазаев Н.В. Нефелометрические исследования лейкоцитов крови // Журнал прикладной спектроскопии.- 1996.- 64, №4.-С.68.

#### SUMMARY

LEVASHENKO G.I., GODOVANYUK V.M.,  
MAZAEV M.V., SHYMANOVSKY O.B.

#### **MULTIELEMENT Si PHOTO DIODES**

31-element photo diodes, constructed on Si crystal by planar-diffusion technology for nephelometry is described. Photo sensitive elements are located on concentric arches, forming partial circle of different width and length about aperture, near which additional detector of radiation is installed.