

ОСОБЛИВІСТЬ ФОТОПРОВІДНОСТІ МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ *n*-ТИПУ В ОБЛАСТІ СИЛЬНОГО ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА

К. ф.-м. н. Н. І. Карась, К. П. Конін, Д. В. Морозовська,
к. ф.-м. н. В. Ф. Онищенко, О. Й. Стронська

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
Україна, м. Київ
dim1561@ukr.net

*При збудженні *n*-Si світлом з довжиною хвилі в межах 0,4—0,6 мкм спостерігається негативна монополярна фотопровідність поверхневого типу. У довгохвильовій частині глибина поглинання світла наближається до глибини шару Шотткі, при цьому включається конкурентна (позитивна) біполярна фотопровідність. У короткохвильовій частині істотно позначається поверхнева рекомбінація. Негативна фотопровідність за модулем є максимальною при збудженні світлом з довжиною хвилі $\approx 0,5$ мкм.*

Ключові слова: макропористий кремній, фотопровідність, поверхнєве збудження.

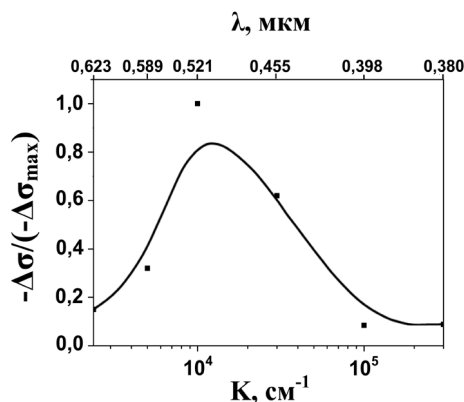
Макропористий кремній (МПК) є перспективним матеріалом для багатьох пристроїв і широко досліджується вже кілька десятиліть. Цікавим є використання МПК для фотоприймачів. Цю роботу присвячено дослідженню поверхневої фотопровідності МПК у видимому діапазоні оптичного спектра в умовах сильного (поверхневого) поглинання.

Фотопровідність (ФП) напівпровідників з урахуванням низки поверхневих процесів, в тому числі й прилипання носіїв заряду на поверхневих рівнях, було теоретично розраховано та експериментально досліджено в [1—4]. У загальному випадку стаціонарна фотопровідність напівпровідників описується виразом, що складається з трьох складових: біполярної ФП в області просторового заряду (ОПЗ) σ_{b1} , біполярної ФП квазінейтральній області σ_{b2} , монополярної ФП ОПЗ σ_{m1} . Монополярна ФП ОПЗ σ_{m1} обумовлена тими рухомими носіями заряду, які компенсують заряд захоплених поверхневими рівнями нерівноважних носіїв протилежного знаку [3]. Ця провідність може бути як позитивною, так і негативною залежно від того, які саме носії, основні або неосновні, переважно захоплюються на поверхневих рівнях. Якщо швидкість захоплення неосновних носіїв більше швидкості захоплення основних, то монополярна фотопровідність σ_{m1} має позитивний знак. Якщо більш інтенсивним буде прилипання основних носіїв, то монополярна ФП буде негативною. Зручним об'єктом дослідження поверхневих фотоелектричних властивостей, в тому числі і ФП, є МПК завдяки його надзвичайно розвиненій поверхні.

Як вихідний матеріал використовувався *n*-Si з питомим опором $4.5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, з рівноважною концентрацією електронів $n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Макропори глибиною 80 мкм, діаметром 3 мкм і концентрацією $N_p = 3,5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ формували методом фотоелектрохімічного травлення в розчині фтористоводневої кислоти з підсвічуванням галогенною лампою. Товщина структури МПК складала 520 мкм. Омічні контакти формували за температури 370°C втиранням золото-кремнієвої евтектики у поверхню структури МПК.

Фотопровідність досліджували у видимій області оптичного спектра, довжина хвилі змінювалася від 0,380 до 0,623 мкм. При цьому показник поглинання змінювався від $3 \cdot 10^5$ до $2,37 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$, відповідно й глибина поглинання складала від 0,03 до 4,22 мкм.

Дослідження проводили стандартним методом з постійним (не модульованим) освітленням із використанням найпростішої схеми: послідовне з'єднання джерела напруги, зразка з опором r і навантажувального опору R , з якого нанометром В2-38 знімався корисний сигнал. ФП вимірювали в режимі максимальної чутливості при $R = r$. Як джерело світла використовували світлодіоди: червоний, жовтий, зелений, синій, фіолетовий та ультрафіолетовий потужністю 10 мВт.



Залежність негативної поверхневої фотопровідності МПК від коефіцієнта поглинання (довжини хвилі) випромінювання

Як видно з рисунка, негативна поверхнева фотопровідність в умовах сильного поверхневого поглинання проявляється у всьому видимому діапазоні оптичного спектра з максимумом при $K = 10^4 \text{ cm}^{-1}$. Глибина поглинання при цьому складає 1 мкм, що приблизно дорівнює товщині області просторового заряду (1,146 мкм [2]). При збільшенні коефіцієнта поглинання від $2,37 \cdot 10^3$ до 10^4 cm^{-1} залежність ФП має аномальний характер: зі збільшенням коефіцієнта поглинання (зменшенням довжини хвилі освітлення) фотопровідність не зменшується, а зростає [3]. На наш погляд, це пояснюється дією «повільних» поверхневих рівнів, на яких при збільшенні коефіцієнта поглинання прилипає все більша кількість основних носіїв заряду і таким чином зростає негативна монополярна компонента ФП σ_{m1} , яка домінує над завжди позитивними компонентами ФП σ_{b1} та σ_{b2} . При подальшому збільшенні коефіцієнта поглинання «повільні» поверхневі рівні є сильно заповненими, і починається спад монополярної негативної складової ФП σ_{m1} ; підсилює спад фотопровідності також і поверхнева рекомбінація [4].

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Konin K.P., Goltvyansky Yu.V., Karachevtseva L.A. et al. Photoconductivity of macroporous and nonporous silicon with ultrathin oxide layers. *Journal of Electronic Materials*, 2018, vol. 47, pp. 5105–5108.
2. Карась Н.И. Отрицательная фотопроводимость в структурах макропористого кремния. *Новые технологии*, 2010, vol. 1, № 27, с. 118–123.
3. Саченко А.В., Снитко О.В. *Фотозффекты в приповерхностных слоях полупроводников*. Киев, Наукова думка, 1984, 232 с.
4. Карась М.І., Карачевцева Л.А., Онищенко В.Ф. Особливості релаксації поверхневої фотопровідності в структурах макропористого кремнію у видимій області спектра. *Хімія, фізика та технологія поверхні*, 2020, т. 11, № 2, с. 228–234.

М. І. Карас, К. Р. Конін, Д. В. Морозовська, В. Ф. Оніщенко, О. У. Стронська

Feature of photoconductivity of *n*-type macroporous silicon under strongly absorbed light

Negative monopolar surface-type photoconductivity is observed in *n*-Si upon excitation by the light of 0.6–0.4 μm wavelengths. On the long-wavelength side, the depth of light absorption approaches the depth of the Schottky layer and competitive (positive) bipolar photoconductivity is induced. On the short-wavelength side, surface recombination has a significant effect. Negative photoconductivity is maximal in modulus when excited by ~0.5 μm light.

Keywords: macroporous silicon, photoconductivity, surface excitation.