

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. XXXVIII, 13

SECTIO AAA

1983

Instytut Fizyki UMCS
Zakład Fizyki Doświadczalnej
Kierownik: prof. dr hab. Mieczysław Subotowicz

Irena BRYŁOWSKA, Krzysztof PAPROCKI,
Mieczysław SUBOTOWICZ, Halina SCIBIOR

Krzemowe ogniwa słoneczne otrzymywane metodą implantacji jonów

Silicon Photovoltaic Cells Produced by Implantation Method

Кремневые солнечные фотозлементы полученные методом внедрения ионов

WSTĘP

Implantacja jonów jako metoda domieszkowania półprzewodników w zastosowaniu do baterii słonecznych ma duże perspektywy ze względu na możliwość wytwarzania złącz p-n blisko powierzchni na głębokościach rzędu kilkuset nm. Oświetlane prostopadle do płaszczyzny złącza płytkie ogniwa forowoltaiczne pozwalają na dobre rozdzielanie generowanych par elektron-dziura.

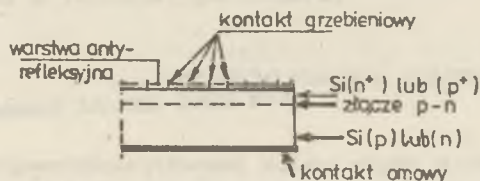
W niniejszej pracy opisano technologię otrzymywania oraz badania wpływu grubości warstwy antyrefleksyjnej, wielkości dawki implantowanych jonów oraz temperatury wygrzewania na wartość współczynnika konwersji krzemowych elementów fotowoltaicznych, otrzymanych metodą implantacji jonów Al i As.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

W doświadczeniach użyto płytek monokrystalicznego krzemu typu n o grubości 250 ± 300 μm i oporze właściwym $\rho = 1,5 \Omega \text{ cm}$ oraz monokrystalicznych płytek krzemu typu p o oporze właściwym $1,5 \pm 3 \Omega \text{ cm}$, wyciętych w płaszczyźnie (111) i (100). Użyto

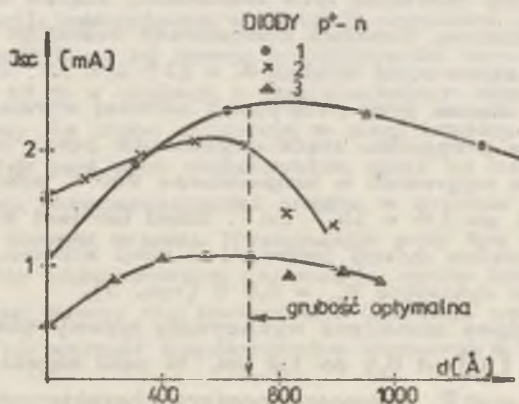
próbek typu p z warstwami epitaksjalnymi o grubości 25 μm i $\rho = 2,8 \Omega\text{cm}$, które były osadzone na monokrystalicznym krzemie o oporze właściwym $\rho = 0,015 \Omega\text{cm}$ i grubości około 200 μm .

Przed implantacją jonów próbki trawiono w roztworze CP4-A i rozcieńczonym HF, następnie płukano kilkakrotnie w wodzie dejonizowanej i acetonie. Wstępnie podczas opracowywania technologii otrzymywania baterii słonecznych implantowano szereg jonów, takich jak B, Al, Ga, As, Sb. Jednak - ze względu na najlepszą powtarzalność charakterystyk prądowo-napięciowych - wybrano dwa jony: Al i As. Krzem typu n implantowano jonami Al^+ w zakresie energii 30 - 120 keV i dawek $1 \cdot 4 \times 10^{13} \div 1 \cdot 4 \times 10^{15} \text{ j/cm}^2$. Krzem typu p implantowano jonami As^+ w zakresie dawek $2 \times 10^{13} \div 2 \times 10^{15} \text{ j/cm}^2$ i energii $30 \div 180 \text{ keV}$. Dawki i energie jonów dobierano w ten sposób, aby uzyskać po implantacji w obszarze głębokości do 0,1 μm rozkład domieszek o stałej koncentracji. Koncentracja ta zmieniała się od $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ dla najniższej dawki ($D \approx 10^{13} \text{ j/cm}^2$) do $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ dla najwyższej dawki ($D \approx 10^{15} \text{ j/cm}^2$). Po implantacji próbki wygrzewano w atmosferze helu w zakresie temperatur $600\text{--}900^\circ\text{C}$ w czasie 1 h. Po wygrzewaniu próbki przemywano w roztworze wodnym HF i płukano w wodzie dejonizowanej i w acetonie. Następnie naparowywano kontakty omowe: stop Au + Sb od strony Si-n oraz od strony Si-p kontakt ze złota. Kontakty wygrzewano w próżni w temperaturze 200°C w czasie 10 minut. Na powierzchni złącza od strony półprzewodnika silniej domieszkowanego naparowywano kontakt grzebieniowy (ryc. 1). Badane złącza miały powierzchnię od 0,5 do 3 cm^2 . Następnie na powierzchni od strony kontaktu grzebieniowego naparowywano warstwę z SiO_2 [1]. Optymalną grubość warstwy określono mierząc dla kilku diod zależność prądu zwarcia I_{sc} od grubości warstwy antyrefleksyjnej d (ryc. 2). Optymalna grubość warstwy wynosiła $700 \pm 100 \text{ \AA}$, przy oświetleniu światłem białym z lampy żarowej ($E \approx 40 \text{ mW/cm}^2$) bez filtra wodnego.



POWIERZCHNIA $0,5 \div 3 \text{ cm}^2$

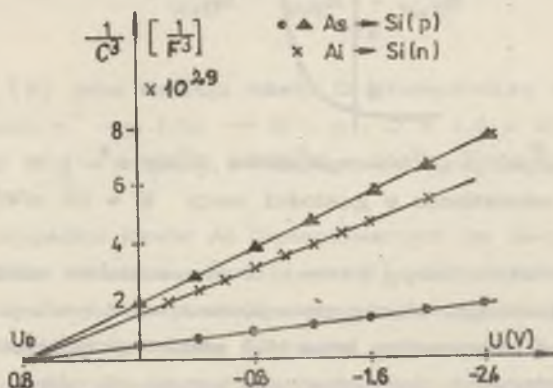
ryc. 1. Schemat krzemowego elementu fotowoltaicznego



Ryc. 2. Wpływ grubości warstwy antyrefleksyjnej SiO_2 na wartość prądu zwarcia I_{sc} w krzemowych elementach fotowoltaicznych

WYNIKI I DYSKUSJA

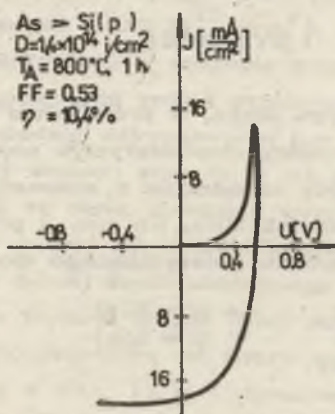
W celu określenia typu złącz, w próbkach o powierzchni $0,5 - 1 \text{ mm}^2$, wykonano pomiary charakterystyk pojemnościowo-napięciowych C-V przy pomocy urządzenia z automatyczną rejestracją krzywej C-V przy częstotliwości 0,5 MHz. Na ryc. 3 przedstawiono zależność $1/C^3$ w funkcji napięcia polaryzującego diodę.



Ryc. 3. Zależność $1/C^3$ w funkcji napięcia polaryzującego diodę

Ze względu na liniowy charakter tych zależności, złącza te określono jako liniowo-skokowe. Gradient koncentracji nośników w obszarze silnie domieszkowanym wynosił $\alpha = (1 \div 5) \times 10^{21} \text{ cm}^{-4}$. Określone grubości złącza przy polaryzacji zerowej wynosiły około 0,3 μm . Jedynie w przypadku złącz uzyskanych przez implantację jonów Al do Si-n po wygrzaniu w temperaturze 900°C szerokość złącza była rzędu 1 μm i $\alpha = 10^{20} \text{ cm}^{-4}$. Efekt ten jest związany z dużym współczynnikiem dyfuzji jonów Al w sieci krzemu. Złącza wykazywały napięcie dyfuzyjne $V_D = 0,8 \text{ V}$ (ryc. 3).

Otrzymane ogniwa słoneczne wykazywały typowy zakres czułości spektralnej [1] od 0,4 do 1,2 μm . W celu określenia współczynnika konwersji η , wykonano pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych (ryc. 4), przy oświetleniu światłem białym z lampy żarowej o wartości gęstości mocy promieniowania $E = 45 \text{ mW/cm}^2$.

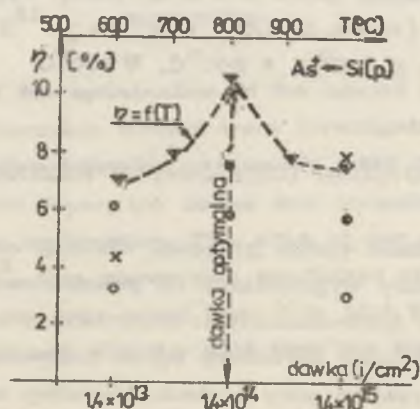


Ryc. 4. Charakterystyki prądowo-napięciowe diody $n^+ - p$ w ciemności i przy oświetleniu o gęstości mocy $E = 50 \text{ mW/cm}^2$

W doświadczeniach użyto lampy żarowej o temperaturze włókna 2300 K bez filtra wodnego. Moc promieniowania emitowanego z lampy mierzono za pomocą aktynometru typu M-3 produkcji radzieckiej. Z wykresów charakterystyk prądowo-napięciowych określono wartości napięcia fotowoltaicznego U_{oc} , gęstość prądu zwarcia j_{sc} i współczynnik wypełnienia FF.

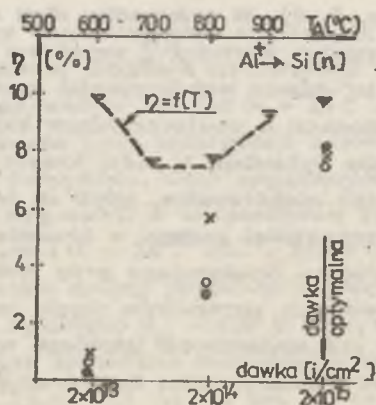
Dawkę implantowanych jonów optymalizowano, mierząc współczynnik konwersji η w zależności od dawki przy stałej tempera-

turze wygrzewania (ryc. 5, 6). W przypadku diod $n^+ - p$ (As implantowany do Si-p), maksymalne wartości η uzyskano przy dawce $1,4 \times 10^{14} \text{ j/cm}^2$. Przy tej dawce współczynniki konwersji η były w zakresie 7 - 10 % w diodach o powierzchniach aktywnych od 0,5 do 3 cm^2 . Jony As słabo dyfundują w sieci krzemu. Stosowanie wysokich dawek jest więc niekorzystne, gdyż ze względu na przekroczenie poziomu rozpuszczalności arsenu w krzemie mogą tworzyć się skupiska atomów arsenu. Występujące przy tym defekty wpływają na obniżenie podstawowych parametrów ogniw fotowoltaicznych [1]. Przy optymalnej dawce nie stwierdzono istotnego wpływu temperatury wygrzewania na wartość współczynnika konwersji η badanych diod (ryc. 5).



Ryc. 5. η (%) jako funkcja dawki D i temperatury wygrzewania T_A w diodach $n^+ - p$ (As $\rightarrow$ Si - p); $D = 1,4 \times 10^{14} \text{ j/cm}^2$,
 $T_A = \circ 600^\circ\text{C}$, $\times 700^\circ\text{C}$, $\bullet 800^\circ\text{C}$, $\nabla 900^\circ\text{C}$

W przypadku jonów Al implantowanych do Si-n, współczynnik η wzrastał ze wzrostem dawki (ryc. 6), niezależnie od temperatury wygrzewania. Jony Al wykazują mały stopień jonizacji, zatem implantowanie wysokich dawek staje się mniej opłacalne. Z tego względu określono w tym przypadku jako optymalną optymalną dawkę na $2 \times 10^{15} \text{ j/cm}^2$. Przy optymalnej dawce nie stwierdzono istotnego wpływu temperatury wygrzewania na współczynnik η . Maksymalne sprawności tych diod wynosiły 7,5-10,4 %.



Ryc. 6. η (%) jako funkcja dawki D i temperatury wygrzewania T_A w diodach $p^+ - n$ ($Al \rightarrow Si-n$); $D = 2 \times 10^{15} \text{ j/cm}^2$, $T_A = 600^\circ\text{C}$, $\times$ 700°C , $\bullet$ 800°C , $\blacktriangledown$ 900°C

PODSUMOWANIE UZYSKANYCH REZULTATÓW

W pracy przebadano wpływ grubości warstwy antyrefleksyjnej dawki jonów i temperatury wygrzewania na podstawowe charakterystyki krzemowych ogniw fotowoltaicznych otrzymanych metodą implantacji jonów As i Al. Optymalne parametry ogniw fotowoltaicznych ($\eta \sim 7 - 10,4$ %) uzyskano przy grubości warstwy antyrefleksyjnej z SiO_2 $700 \pm 100 \text{ \AA}$. W przypadku implantacji jonów As uzyskujemy optymalne ogniwa fotowoltaiczne przy dawce rzędu $1,4 \times 10^{14} \text{ j/cm}^2$. Jest to wartość o rząd wielkości niższa niż optymalna dawka w przypadku implantacji jonów Al. Przy optymalnej dawce nie stwierdzono wpływu temperatury wygrzewania na wartość współczynnika η . W przypadku diod otrzymywanych na podłożu krzemu typu-p nie stwierdzono istotnych różnic w parametrach ogniw fotowoltaicznych wykonanych na warstwach epitaksjalnych.

Otrzymane diody wykazywały porównywalne własności do złącz otrzymywanych metodą implantacji jonów przez innych autorów [2, 3].

PISMIENNICTWO

1. Milnes A. G., Feucht D. L.: Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions, Academic Press, New York and London 1972.
2. Michel J., Fabre F.: Laser and Elektron Beam Processing of Materials, Academic Press, 644 (1980).
3. Young R. T., White C. W., Clark G. J.: Photovoltaic Solar Energy Conf., Proc. Int. Conf. held in Luxemburg, 27-30 Sept. 1977, p. 861.

SUMMARY

Results of the optimization of the silicon photovoltaic elements produced by implantation method were investigated. As and Al-ions were implanted. The following parameters were optimized: thickness of the antireflection layer, ion doses and annealing temperature of the samples after implantation. The area of our photocells was equal from 0,5 to 3 cm². The conversion coefficient of the radiation energy into the electric one was equal from 7 to 10,4 % during the illumination of the photocell with the light from the lamp with the tungsten fiber.

РЕЗЮМЕ

В работе оптимизированы следующие параметры кремневых фотоэлементов построенных методом внедрения As и Al -ионов: толщина антирефлексионного слоя, доза ионов и температура отжига образцов после внедрения ионов. Поверхность наших диодов равна от 0,5 до 3 см², коэффициенты полезного действия равны 7 до 10,4% при освещении белым светом из лампы с волокном из вольфрама.

