

Podwójna mikroniejednorodność półprzewodników $A_{III}B_V$ *

Jedną z nieodłącznych cech materiałów półprzewodnikowych jest zmienność przestrzenna /niejednorodność/ elektrycznych i krystalograficznych parametrów; stanowi ona podstawową przeszkodę w realizowaniu procesów technologicznych, prowadzących do otrzymania przyrządów półprzewodnikowych.

Większość niezamierzonych niejednorodności wynika z błędów popełnionych w trakcie monokryształizacji, takich jak niestabilność napięcia zasilającego stanowisko, drgania mechaniczne, wadliwy rozkład temperatury itp. Można ich się pozbyć udoskonalając urządzenia technologiczne.

Monokryształy otrzymywane z fazy ciekłej nawet w najdoskonalszych urządzeniach posiadają jednak pewne nierównomierności rozkładu domieszek, polegające na periodycznych zmianach koncentracji, obserwowanych w kierunku narastania siatki krystalicznej. Nierównomierności tych, zwanych najczęściej mikroniejednorodnościami, udało się uniknąć, o ile mi wiadomo, tylko w przypadku przeprowadzenia monokryształizacji w kosmosie, w warunkach nieważkości. W warunkach ziemskich jesteśmy skazani na ich istnienie i musimy zajmować się skutkami tego faktu.

Mikroniejednorodność obserwować można w materiale wolnym, lub prawie wolnym od makroniejednorodności oraz od zakłóceń o zasięgu i amplitudzie porównywalnymi z badanym zjawiskiem. Mikroniejednorodność krzemu i germanu znana jest i dość dokładnie zbadana, natomiast badana tego typu w stosunku do związków $A_{III}B_V$, a zwłaszcza badania GaAs i InSb prowadzone były dopiero w ostatnim dziesięcioleciu.

Badanie mikroniejednorodności przeprowadza się najczęściej jedną z czterech metod:
a/ poprzez precyzyjny pomiar ostrzowy rozkładu oporności właściwej, przy zastosowaniu sond o bardzo małym rozstawie ostrzy /rzędu 0,1 mm/ lub jednoostrzowo, tzw. metodą rozptywu;

b/ poprzez trawienie chemiczne w roztworach, dających dużą zależność szybkości trawienia od koncentracji domieszek;

* Referat wygłoszony na Konferencji Naukowej nt. "Otrzymywanie i własności fizyczne związków półprzewodnikowych i ich roztworów stałych" /Cetuń. 7-9.X.197

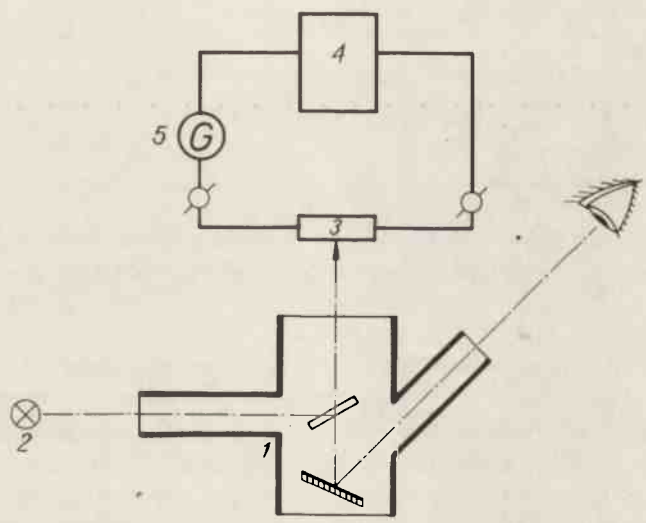
- c/ poprzez pomiar objętościowej siły fotoelektromotorycznej /zjawisko fotowoltaiczne lub elektronowoltaiczne/;
 d/ poprzez punktowy pomiar absorpcji i odbicia.

Stosunkowo najszybszy i najskuteczniejszy jest pomiar napięcia fotoelektrycznego przy zastosowaniu sondy światła koherentnego o jak najmniejszych wymiarach.

Napięcie fotoelektryczne, powstające pod wpływem oświetlenia punkowego w niejednorodnej próbce jest, przy spełnieniu pewnych, niezbyt trudnych warunków [1], proporcjonalne - z dobrym przybliżeniem - do pochodnej oporności właściwej:

$$\xi = \frac{q \alpha}{s} L^2 \frac{do}{dx}, \quad (1)$$

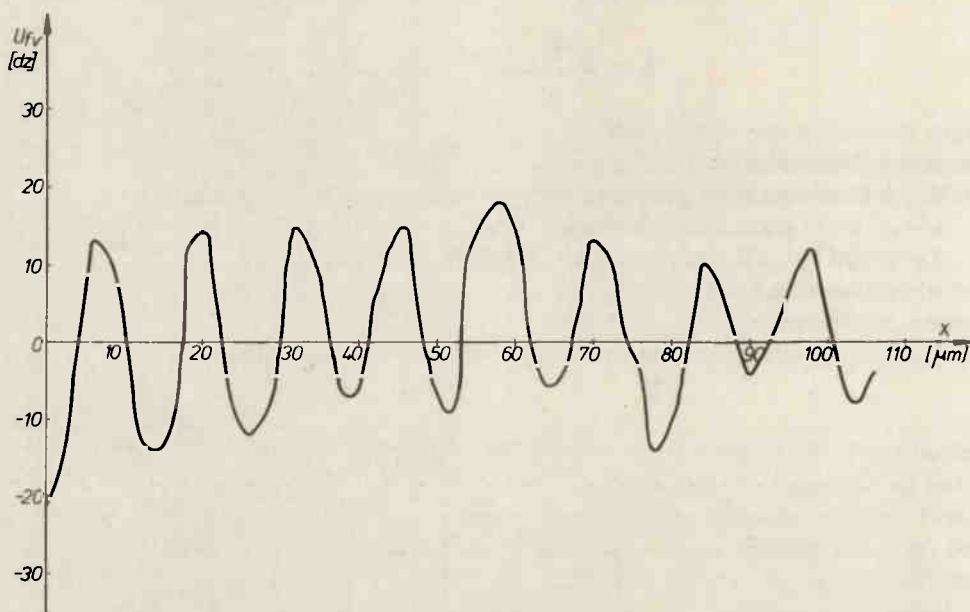
- gdzie: o - ładunek elektronu,
 α - liczba nośników generowanych przez sondę świetlną w ciągu 1 s,
 s - przekrój poprzeczny badanej próbki,
 L - droga dyfuzji nadmiarowych nośników ładunku,
 o - oporność właściwa,
 x - współrzędna,
 ξ - siła elektromotoryczna powstała pod wpływem oświetlenia.



Rys. 1. Układ do pomiaru objętościowego napięcia fotoelektrycznego, używany przy badaniu mikronejednorodności

Pomiar zjawiska fotowoltaicznego można przeprowadzić np. w układzie składającym się z mikroskopu metalograficznego (1) z oświetlaczem laserowym (2) o odpowiednio dobranej długości promieniowej fali oraz z zespołu do pomiaru siły elektromotorycznej powstającej w oświetlonej próbce (3) /rys. 1/.

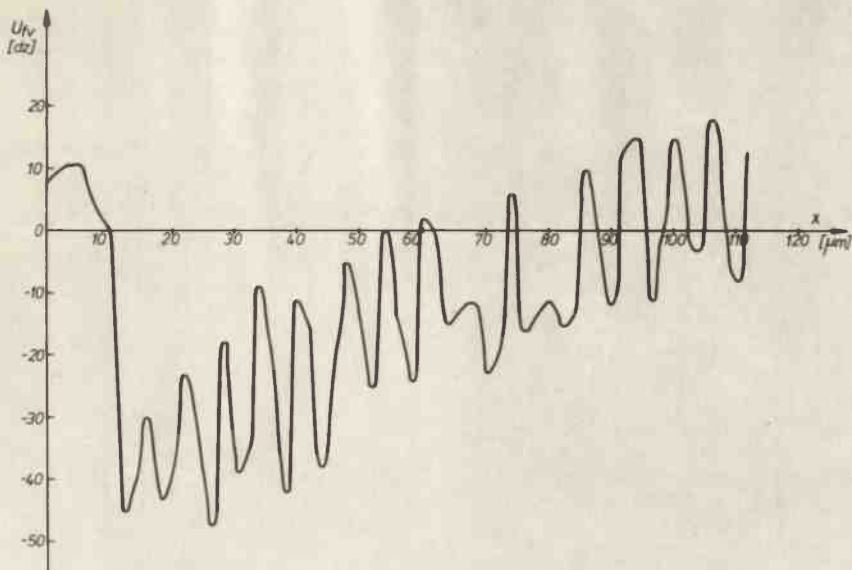
Wartość siły elektromotorycznej mierzy w tym układzie kompensator (4) z galwanometrem (5). Może to być oczywiście również układ samopiszący, sprzężony z silnikiem poruszającym próbkę.



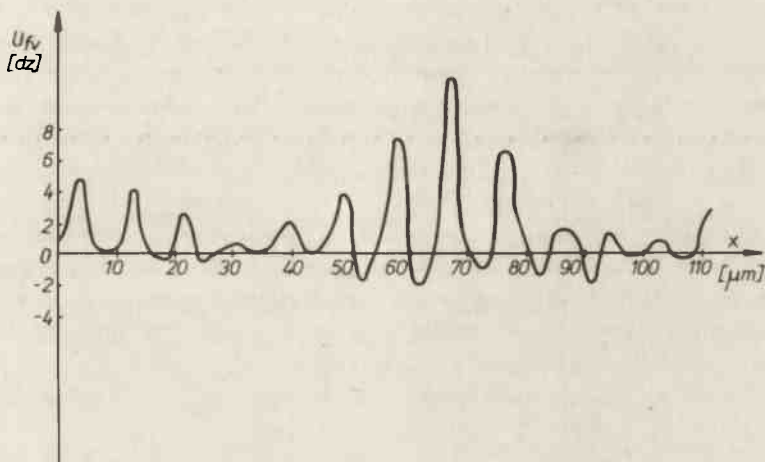
Rys. 2. Przykładowy przebieg objętościowego zjawiska fotowoltaicznego związanego z mikroniejednorodnością germanu

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykładowe przebiegi napięcia fotoelektrycznego, typowe dla mikroniejednorodności występujących w germanie i w krzemie. Pomiaru fotoelektryczne, przeprowadzone na specjalnie wybranych, maksymalnie jednorodnych fragmentach monokryształów GaAs dały [2] rezultaty przedstawione na rys. 4. Zwraca tu uwagę fakt, że obok podstawowej powtarzalności przebiegu napięcia fotoelektrycznego o długości cyklu rzędu 20 μm występują periodyczne zmiany "amplitudy" tego cyklu, o odległości między wartościami maksymalnymi wynoszącej 60 ÷ 70 μm .

Trawienie elektrolityczne badanych fragmentów przy użyciu prądu impulsowego o dużym natężeniu, ujawniło prążki odpowiadające swym rozkładem powtarzalności podstawowej. Nie stwierdzono żadnych zmian w rozkładzie prążków, które dałyby się porównać z obserwowanymi zmianami amplitudy. Ponieważ przebieg trawienia zależy

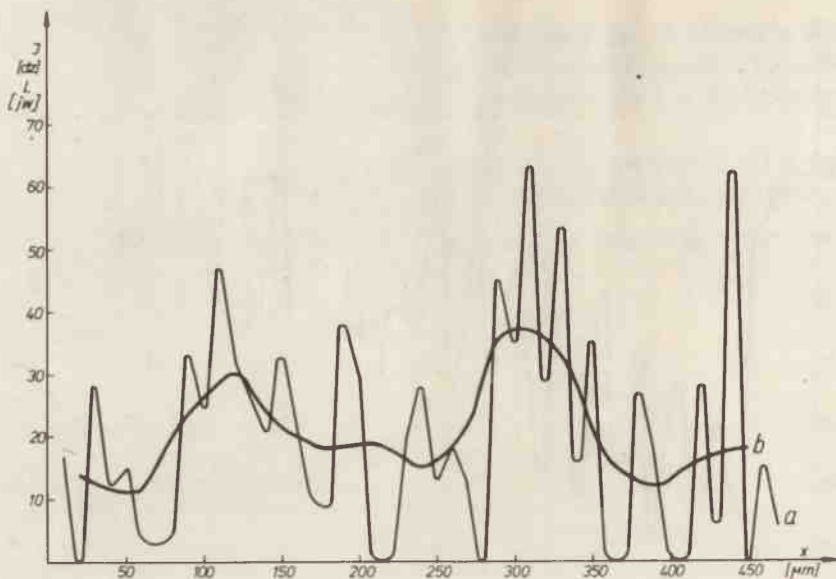


Rys. 3. Przykładowy przebieg objętościowego zjawiska fotowoltaicznego związanego z mikroniejednorodnością krzemu



Rys. 4. Przykładowy przebieg objętościowego zjawiska fotowoltaicznego zmierzonego na maksymalnie jednorodnym obszarze monokryształu GaAs

jedynie od koncentracji nośników ładunku, a wartość napięcia fotoelektrycznego jest funkcją pochodnej oporności właściwej i długości drogi dyfuzji nadmiarowych nośników prądu [wzór (1)], powstaje sugestia, iż zmiany amplitudy napięcia są związane z okresowymi zmianami parametrów rekombinacji. Podobny rezultat dały następnie



Rys. 5. Porównanie przebiegu objętościowego zjawiska fotowoltaicznego (a) i długości drogi dyfuzji (b) na płytce GaAs

pomiary rozkładu oporności właściwej przeprowadzone metodami ostrzowymi. Ostatnio przeprowadzono doświadczenia przy zastosowaniu spektrofotometrycznej metody pomiaru długości drogi dyfuzji w tych samych punktach, co pomiar rozkładu objętościowego napięcia fotoelektrycznego. Porównując wartości napięcia zmierzone przy różnych składach widmowych sondy świetlnej [3] uzyskano rozkład długości drogi dyfuzji nadmiarowych nośników ładunku z dobrym przybliżeniem, zgodny z rozkładem "wtórnej mikroniejednorodności" /rys. 5/. Zmianom długości drogi dyfuzji towarzyszą też niewielkie wahania w położeniu krawędzi absorpcji podstawowej [4], co sugeruje hipotezę, że za "wtórną" mikroniejednorodność "odpowiedzialne" są minimalne zmiany we wzajemnym stosunku Ga i As. Zmiany te są na tyle małe, że nie dają się wykryć innymi, znanymi metodami, ale mogą mieć decydujące znaczenie np. przy tworzeniu się domen w diodach Gunna lub obszarów bardziej czy mniej intensywnej generacji promieniowania rekombinacyjnego w złączach p-n.

Literatura

1. Laszkariev V. E., Romanov V. A.: Trudy Inst. Fiz. AN USSR 7, 1956
2. Lorinczy A., Nemeth T., Sallay-Nemeth M., Swiderski J.: Acta Tech. Acad. Sc. Hungaricae 68, 1-2, 1970
3. Swiderski J.: Derotaometr. Francusko-Polskie Seminarium nt. Charakteryzacji Materiałów Półprzewodnikowych. Warszawa 1975
4. Dygala E., Swiderski J.: Elektronika Półprzewodników. Warszawa. PWN 1969, s. 109.