

Opracowanie fotoelektrycznych metod określania rozkładów lokalnych wartości parametrów elektrycznych struktur MOS w płaszczyźnie powierzchni bramki

mgr inż. Krzysztof Piskorski

Niniejsza praca szeroko opisuje zastosowanie fotoelektrycznych metod pomiaru niektórych parametrów elektrycznych struktury MOS. Metody te polegają na jednoczesnym oświetleniu badanej struktury i pomiarze jej odpowiedzi elektrycznej (wykorzystując m.in. różną moc i długość fali światła). Metody fotoelektryczne uzupełniają standardowe pomiary elektryczne, optyczne i inne, ale bardzo często bywa tak, że metody te są jedynymi, a wyniki przez nie otrzymywane dostarczają całkiem nowych informacji niemożliwych bądź trudnych do uzyskania innymi znanymi metodami. Istotnym atutem metod fotoelektrycznych jest ich duża precyzja i czułość, co czyni z nich metody dokładniejsze i skuteczniejsze od innych metod charakteryzacji struktur MOS.

Rozdział 1 szczegółowo opisuje zagadnienia teoretyczne dotyczące opisu zjawisk fizycznych zachodzących w oświetlonej strukturze MOS. Przedstawiono tutaj informacje na temat zjawisk optycznych towarzyszących oświetleniu struktury (m.in. interferencja, absorpcja). Omówiony został wpływ oświetlenia na właściwości obszaru przypowierzchniowego półprzewodnika. Główną część tego rozdziału stanowi opis zjawiska fotoemisji wewnętrznej z podziałem na kolejne etapy fotoemisji oraz opis wydajności kwantowej fotoemisji będącej kluczowym parametrem charakteryzującym proces fotoemisji. Na zakończenie przedyskutowano zagadnienia dotyczące zjawisk zachodzących w strukturze MOS dla małych natężeń pola w dielektryku.

Fotoelektryczne techniki pomiarowe są z powodzeniem stosowane w określaniu takich parametrów elektrycznych jak: efektywna kontaktowa różnica potencjałów ϕ_{MS} , napięcie wyprostowanych pasm w dielektryku V_{Go} , wysokości barier potencjałów na granicach metal-dielektryk E_{BG} i półprzewodnik-dielektryk E_{BS} oraz parametru " V_{FB} " będącego napięciem bramki, dla którego fotoprąd w strukturze mierzony metodą LPT (SLPT) jest równy zero. Dokładny opis fizyczny tych parametrów, sposoby ich wyznaczania oraz przykłady pomiarów wykonanych na różnych technologicznie strukturach były dyskutowane w Rozdziale 2.

W Rozdziale 3 dotyczącym badań własnych autora przedstawiono wyniki pomiarów ww. parametrów przy użyciu fotoelektrycznych (również elektrycznych) technik charakteryzacji. Rozkłady przestrzenne określano na podstawie pomiarów wartości lokalnych tych parametrów, czyli wartości zmierzonych przy udziale plamki światła mniejszej od rozmiarów badanych struktur, co pozwoliło na pomiar rozkładów przestrzennych parametrów: $\phi_{MS}(x,y)$, $E_{BG}(x,y)$, $E_{BS}(x,y)$ i " $V_{FB}(x,y)$ ". Stwierdzono charakterystyczne kopułowate kształty rozkładów w płaszczyźnie powierzchni bramki dla tych parametrów, z wyjątkiem parametru $E_{BS}(x,y)$, dla którego zauważono, że ma on rozkład równomierny dla całej powierzchni bramki. O tym, czy rozkłady przestrzenne istnieją można się również przekonać na podstawie pomiarów wartości średnich danego parametru w funkcji współczynnika R odzwierciedlającego wielkość badanej struktury ($R = \text{obwód} / \text{powierzchnia}$). Dla tych parametrów, dla których obserwuje się malejącą zależność ich wartości średnich od rosnącej wartości współczynnika R , można stwierdzić,

że wartości lokalne na rogach bądź krawędziach struktury są mniejsze od wartości lokalnych na środku struktury. Wraz ze wzrostem R , czyli maleniem rozmiarów struktury, rośnie udział krawędzi co powoduje, że wartość średnia mierzonego parametru maleje. Takie wyniki są potwierdzeniem istnienia wspomnianych wcześniej charakterystycznych rozkładów przestrzennych parametrów $\phi_{MS}(x,y)$, $E_{BG}(x,y)$ oraz " V_{FB} "(x,y). W rozdziale tym przedstawione zostały wyniki obliczeń analitycznych modeli rozkładów przestrzennych tych parametrów. Oprócz zastosowania modelu już istniejącego dla struktur z bramką kwadratową, autor opracował oraz zweryfikował eksperymentalnie model opisujący takie rozkłady dla struktur z bramką okrągłą. Dla takich struktur zaproponowany także został model opisujący zależność średnich wartości danego parametru w funkcji zmian współczynnika R . Oba modele potwierdziły zgodność z wynikami pomiarów i okazały się przydatne do opisu zmian wartości lokalnych i wartości średnich danego parametru.

Warto podkreślić, że większość prac związanych z określaniem charakterystycznych rozkładów przestrzennych autor pracy przeprowadził po raz pierwszy. Otrzymane wyniki są nowatorskie i oryginalne i wnoszą istotny wkład do poszerzenia bogatej wiedzy na temat parametrów i zjawisk w strukturach MOS. Wykonane zostały badania na wielu różnych technologicznie strukturach zarówno na podłożu krzemowym Si jak i na podłożu z węgla krzemu SiC. Dla obu typów struktur potwierdzono charakterystyczne kopułowe kształty rozkładów przestrzennych w płaszczyźnie powierzchni bramki struktury MOS takich parametrów jak: $\phi_{MS}(x,y)$, $E_{BG}(x,y)$ oraz $V_{FB}(x,y)$. Rozkłady te potwierdzone również zostały pomiarami średnich wartości tych parametrów w funkcji współczynnika R . Oprócz różnego podłoża wykorzystane do badań struktury różniły się materiałem bramki (Al, Ni), kształtem tych bramek oraz ich grubością. We wszystkich przypadkach odnotowano te same wnioski potwierdzające przydatność fotoelektrycznych technik pomiaru w określaniu rozkładów przestrzennych w płaszczyźnie powierzchni bramki tych struktur.

W przypadku struktur z bramką polikrzemową i złotą potwierdzony został brak charakterystycznych rozkładów przestrzennych. W pierwszym przypadku wynika to ze zbliżonych współczynników rozszerzalności cieplnej polySi i SiO₂ co skutkuje tym, że na granicy polySi-SiO₂ występują niewielkie naprężenia mechaniczne nie mające wpływu na wartości mierzonych parametrów. W drugim przypadku za brak takich rozkładów odpowiedzialna jest słaba adhezja złota do dielektryka SiO₂.

Zaprezentowane w pracy wyniki potwierdziły stawianą hipotezę o wpływie naprężeń mechanicznych na wartości parametrów elektrycznych struktury MOS. Naprężenia w dielektryku, mające nierównomierny rozkład pod powierzchnią metalowej bramki, powodują występowanie charakterystycznych rozkładów przestrzennych w płaszczyźnie powierzchni bramki omówionych wyżej parametrów (ϕ_{MS} , E_{BG} i V_{FB}). Obserwowane także przez autora zależności tych parametrów od współczynnika R (spadek wartości tych parametrów dla większych wartości R) potwierdzają wpływ naprężeń mechanicznych na wartości średnie tych parametrów.

Niniejsza praca przedstawia szeroką gamę fotoelektrycznych metod pomiaru istotnych parametrów elektrycznych struktury MOS. Wskazano na zalety tych metod oraz opisano kłopoty oraz ograniczenia w ich stosowaniu. Udało się opracować nowe techniki pomiaru, które w dobie rozwijającej się nanoelektroniki powinny być bardzo dobrym narzędziem do charakteryzacji nowoczesnych struktur nanoelektrycznych.