RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **213015**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **379556**

(51) Int.Cl.
G01N 21/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **27.04.2006**

(54) **Sposób wyznaczania energii aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku w półprzewodnikach zwłaszcza dla monokrystalicznego siarczku galu**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
29.10.2007 BUP 22/07

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.12.2012 WUP 12/12

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
MARIAN NOWAK, Katowice, PL
MARIA SZAŁAJKO, Gliwice, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Urszula Ziółkowska

PL 213015 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wyznaczania energii aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego w materiałach półprzewodnikowych, zwłaszcza dla monokrystalicznego siarczku galu.

Sposoby wyznaczania energii aktywacji poziomów rekombinacyjnych w półprzewodnikach bazują m. in. na pomiarach prądów termostymulowanych lub na pomiarach fotoprzewodnictwa elektrycznego, efektu fotomagnetoelektrycznego lub efektu fotowoltaicznego w funkcji temperatury badanej próbki. Przy tym rozpatrywane zależności są bardzo skomplikowane ze względu na to, iż wraz ze zmianą temperatury badanego materiału zachodzą zmiany wartości istotnych jego parametrów. Parametrami tymi są między innymi: szerokość przerwy energetycznej, współczynnik absorpcji światła oraz ruchliwość nośników ładunku. Równocześnie z tymi zmianami zmiana temperatury powoduje zmianę obsadzenia centrów pułapkowych i rekombinacyjnych, co powoduje zmianę czasu życia nośników ładunku elektrycznego i objawia się w postaci zmiany sygnału pomiarowego w badanych zjawiskach. W sposób jakościowy o rodzaju rekombinacji liniowej czy też nieliniowej w półprzewodnikach decyduje się również na podstawie badań zależności sygnałów wymienionych zjawisk fotoelektrycznych i fotomagnetoelektrycznych od natężenia oświetlenia. Stosuje się w tym celu empiryczne prawo potęgowe, w którym sygnał jest proporcjonalny do natężenia oświetlenia podniesionego do potęgi γ. W przypadku rekombinacji liniowej współczynnik γ ma wartość bliską jedności, a w przypadku rekombinacji z udziałem centrów pułapkowych (tzw. rekombinacja nieliniowa) współczynnik ten znacznie odbiega od jedności (np. wynosi 0,5).

Sposób według wynalazku polega na tym, że rejestruje się w różnych temperaturach, to jest w przedziale od 333K do 80K, sygnały wywołane oświetleniem próbki monokrystalicznego siarczku galu (GaS) jako funkcje natężenia oświetlenia, na podstawie tych charakterystyk wyznacza się współczynniki potęgowe zależności danego sygnału od natężenia oświetlenia dla zadanych temperatur, a uzyskane w ten sposób wyniki aproksymuje się zależnością teoretyczną - metodą najmniejszych kwadratów, przy czym jej parametrem dopasowywanym jest energia aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego.

Zaletą takiej metody wyznaczania energii aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego w materiałach półprzewodnikowych jest uniknięcie potrzeby wyznaczania bezwzględnych wartości czasów życia nośników ładunku elektrycznego oraz uniknięcie potrzeby określenia zależności temperaturowej ruchliwości nośników ładunku w badanym materiale.

Rozwiązanie według wynalazku znajdzie przemysłowe zastosowanie zwłaszcza przy badaniach nowych materiałów optoelektronicznych w odniesieniu do precyzyjnego wyznaczenia ich właściwości optycznych to jest energii aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku, a tym samym sprawności nowych typów ogniw fotowoltaicznych.

P r z y k ł a d

Próbkę monokrystalicznego siarczku galu (GaS) przygotowaną w postaci płytki prostopadłej do osi c zaopatrzono w kontakty elektryczne wykonane pastą Ag. Kontakty wykazywały omowość w zakresie przykładanych pól elektrycznych. Wymiary geometryczne próbki wynosiły: długość 5 mm, szerokość 5 mm, grubość 90 μm. Próbka została umieszczona w optycznej komorze D2209 mikrochłodziarki K2205 firmy MMR Technologies. Komora optyczna mikrochłodziarki była zaopatrzona w dwa okienka przepuszczające światło. Wewnątrz komory uzyskano próżnię ok. 10^{-3} Pa. Do tego celu zastosowano próżniową pompę turbomolekularną D-35614 Asslar, firmy Pfeiffer-Yacuum, wyposażoną w próżniomierz oporowy. Do kanalików mikrochłodziarki był doprowadzony sprężony gazowy azot pod ciśnieniem ok. 12 MPa. Mikrochłodziarka była połączona z kontrolerem temperatury K77 firmy MMR Technologies Inc. Urządzenie to pozwalało na zmianę temperatury w komorze pomiarowej i jej kontrolowanie z dokładnością 0,1K. Jako oświetlacz zastosowano zamiennie laser argonowy typu Reliant 50S firmy Laser Physics o mocy 50 mW, który daje światło o długości fali 488 nm ($h\gamma$ = 2,54 eV) oraz monochromator pryzmatyczny typu SPM2 firmy Carl-Zeiss (Jena) ze szczeliną wyjściową o regulowanej szerokości od 0 do 1,5 mm. Źródłem światła dla monochromatora była żarówka halogenowa o mocy 750 W. Fotoprzewodnictwo badano poprzez pomiar rezystancji próbki. Pomiary były wykonywane elektrometrem Keithley 617, połączonym magistralą IEEE-488 z komputerem IBM PC. Badana próbka była oświetlona poprzez szczelinę o szerokości 0,5 mm. Zmianę natężenia oświetlenia uzyskano stosując filtry neutralne UV-NIR-FILTER-250-2000 nm (Quarzglas-Substrate) firmy Oriel. W każdej serii pomiarowej dla jednego natężenia oświetlenia i jednej temperatury długość fali światła

była zmieniana za pomocą silnika krokowego co 2 nm w zakresie od 560 nm do 420 nm. Na początku i na końcu każdej serii wykonano pomiary rezystancji próbki nieoświetlonej. Wyniki pomiarów były rejestrowane za pomocą programu komputerowego. Program ten umożliwia także sterowanie silnikiem krokowym. Do wyznaczenia natężenia światła, pochodzącego tak z monochromatora. jak i lasera argonowego, zastosowano fotodiodę krzemową S-2387 firmy Hamamatsu o dużej powierzchni światłoczułej. Fotodioda ta pracowała w reżimie zwarciowym. Natężenie prądu płynącego przez nią było mierzone za pomocą pikoamperomierza Keithley 485.

Pomiary rezystancji badanej próbki w temperaturach zmienianych od 333K do 80K, a także uwzględnienie jej rozmiarów pozwoliły na wyznaczenie fotoprzewodnictwa dla różnych natężeń oświetlenia. Na podstawie charakterystyk temperaturowych wyznaczono zależność fotoprzewodnictwa od natężenia oświetlenia dla różnych temperatur. Zależność tę aproksymowano półempiryczną zależnością potęgową, dzięki czemu wyznaczono współczynnik potęgowy γ(hv,T) zależny zarówno od energii fotonów, jak i temperatury. Na charakterystykach widmowych wyraźnie można wyróżnić krawędź absorpcji podstawowej światła w badanym materiale. Przy wyznaczaniu energii aktywacji poziomów rekombinacyjnych skorzystano z wartości γ(hv,T) dla energii fotonów z zakresu większych od szerokości przerwy energetycznej w całym zakresie badanych temperatur. W szczególności, w przypadku GaS zapewnia to energia fotonów hv = 2,54 eV emitowanych przez laser Ar. W zakresie temperatur 80 ± 230 K współczynnik γ (hv,T) jest bliski jedności, a więc można powiedzieć z dużą dokładnością, że fotoprzewodnictwo dla tej długości fali jest funkcją liniową natężenia oświetlenia i mechanizmy rekombinacji są również liniowe. Powyżej 230K współczynnik γ(hv.T) bardzo szybko maleje i przy temperaturze 300K spada do ok. 0,5.

Zależność temperaturową współczynnika γ(hv,T) aproksymowano metodą najmniejszych kwadratów zależnością teoretyczną zawierającą eksponencjalną zależność o wykładniku potęgowym proporcjonalnym ze znakiem minus do energii aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego w materiałach półprzewodnikowych oraz odwrotnie proporcjonalnym do iloczynu stałej Boltzmanna i temperatury. Na podstawie tej aproksymacji wyznaczono energię aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego 0,127 ± 0,011 eV.

Zastrzeżenie patentowe

Sposób wyznaczania energii aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku w półprzewodnikach zwłaszcza dla monokrystalicznego siarczku galu, **znamienny tym**, że rejestruje się w różnych temperaturach, to jest w przedziale od 333K do 80K, sygnały wywołane oświetleniem próbki monokrystalicznego siarczku galu (GaS) jako funkcje natężenia oświetlenia, na podstawie tych charakterystyk wyznacza się współczynniki potęgowe zależności danego sygnału od natężenia oświetlenia dla zadanych temperatur, a uzyskane w ten sposób wyniki aproksymuje się zależnością teoretyczną - metodą najmniejszych kwadratów, przy czym jej parametrem dopasowywanym jest energia aktywacji procesu rekombinacji nośników ładunku elektrycznego.

Departament Wydawnictw UP RP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)