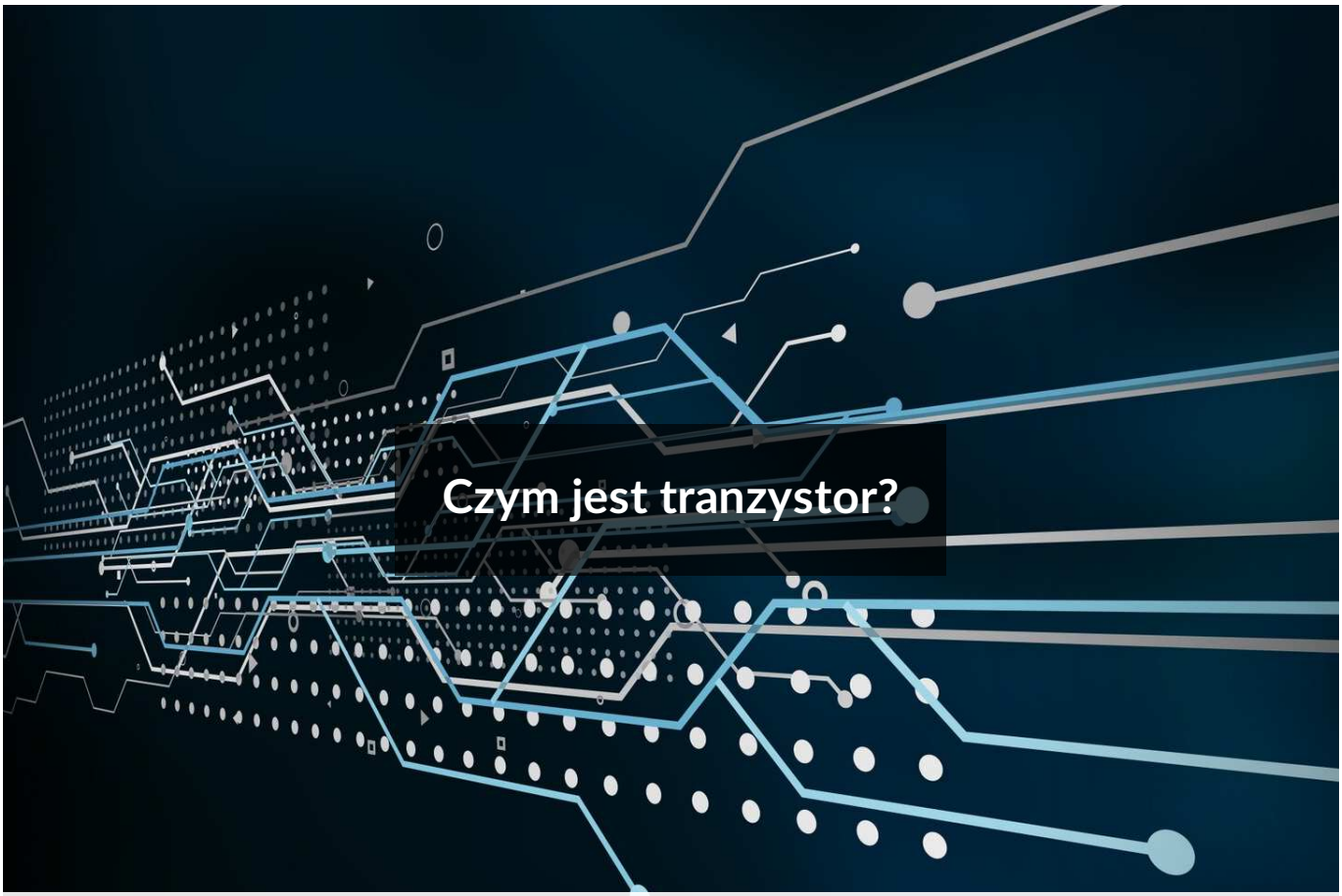
Czym jest tranzystor?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Źródło: dostępny w internecie: https://lovepik.com/image-605724391/blue-big-data-internet-banner-poster-background.html [dostęp 13.07.2022].

Czy to nie ciekawe?

Tranzystory można uznać za podstawowe elementy elektroniczne. W swoim działaniu wykorzystują właściwości materiałów półprzewodnikowych typu *p* i *n*. Dzięki odpowiedniej konfiguracji tych materiałów, tranzystory uzyskują możliwość sterowania przepływem prądu elektrycznego. Pozwala to tranzystorom, miedzy innymi, wzmacniać sygnał elektryczny.

Twoje cele

- Poznasz podstawowe typy tranzystorów;
- dowiesz się, jak są zbudowane tranzystory;
- objaśnisz zasadę działania tranzystorów;
- przeanalizujesz i zinterpretujesz schematy budowy tranzystorów;
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywani zadań.

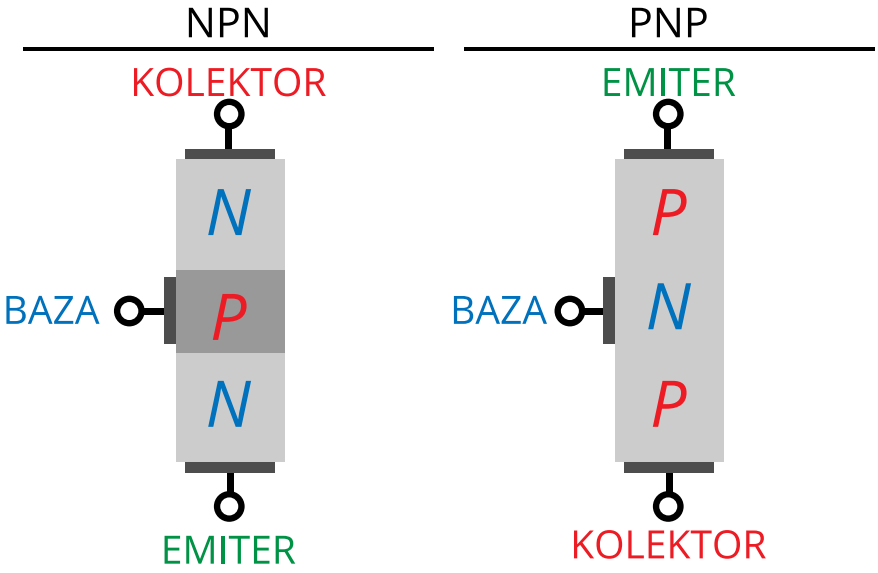
Przeczytaj

Warto przeczytać

Tranzystory są elementami elektronicznymi, których podstawową właściwością jest możliwość sterownia prądem o dużym natężeniu, za pomocą prądu o małym natężeniu. Ta właściwość pozwala, między innymi, wzmacniać amplitudę małego prądu (tranzystor działa jak wzmacniacz), czy też włączać i wyłączać prąd o dużym natężeniu za pomocą prądu o małym natężeniu (tranzystor działa jak klucz).

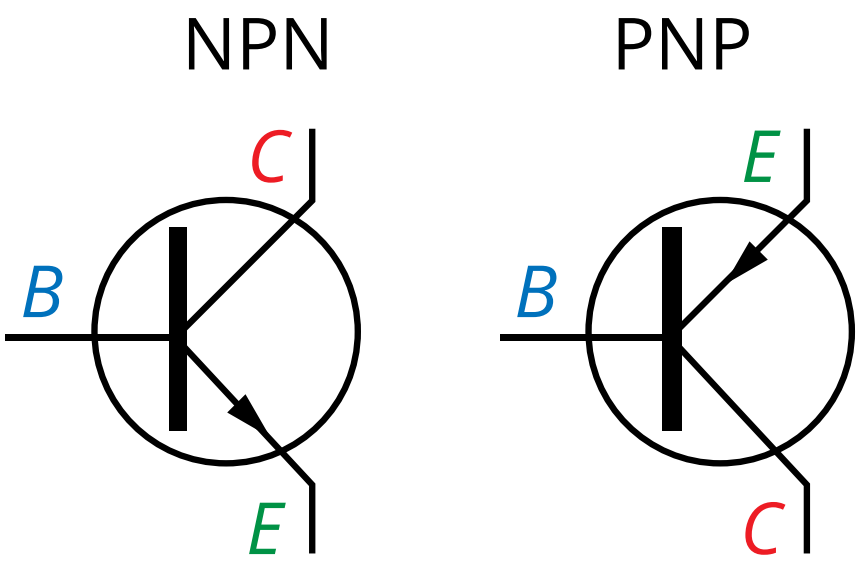
Stosuje się powszechnie dwa typy tranzystorów: bipolarne i unipolarne.

Tranzystor bipolarny to tranzystor, w którym istotny udział w przewodzeniu prądu mają dwa typy nośników prądu występujące w półprzewodnikach: elektrony i dziury. Powstaje z połączenia trzech warstw półprzewodników *p i n* ułożonych w kolejności *p-n-p* lub *n-p-n* (Rys.1). Półprzewodnik typu n to półprzewodnik, w którym w wyniku domieszkowania zwiększa się ilość elektronów swobodnych. Natomiast typ p to półprzewodnik, w którym domieszkowanie zwiększa ilość dziur – dodatnich nośników prądu. Dziurą nazywa się brak elektronu w wiązaniu międzyatomowym. Ten brak elektronu może się przemieszczać w materiale mając cechy dodatniego nośnika ładunku. Więcej o domieszkowaniu półprzewodników możesz przeczytać w e-materiałach „ Półprzewodniki typu n” i „Półprzewodniki typu p”.



Rys. 1a. Schemat układu warstw półprzewodnikowych w tranzystorach npn i pnp.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.



Rys. 1b. Symbole graficzne tych tranzystorów. Strzałka na symbolu tranzystora pokazuje kierunek dobrego przewodzenia prądu przez złącze emiter-baza.
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Poszczególne warstwy tranzystora i doprowadzone do nich elektrody noszą nazwy odzwierciedlające ich rolę w działaniu tranzystora:

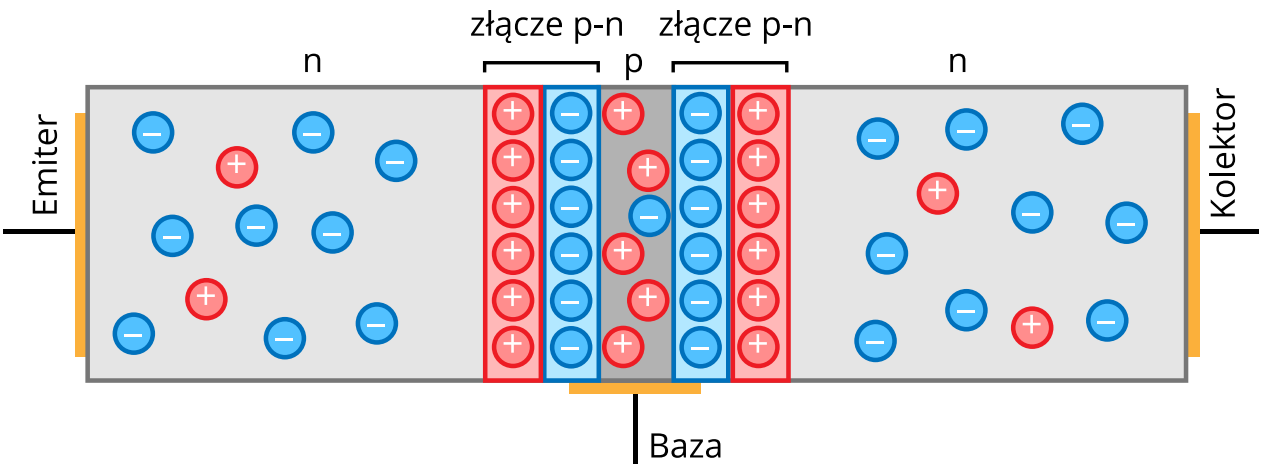
emiter (oznaczony literą E) to warstwa silnie domieszkowana, stanowiąca źródło nośników prądu;

baza (oznaczona literą B) warstwa cienka i słabo domieszkowana – jej zadaniem jest sterowanie prądem przepływającym przez tranzystor;

kolektor (oznaczony literą C) – „zbiera" ładunki przepływające przez tranzystor.

Warstwy zewnętrzne są stosunkowo grube. Warstwa środkowa powinna być na tyle cienka, aby mogły przez nią dyfundować nośniki z emitera do kolektora. Jej grubość wynosi około 0,01-0,03 mm. Obszar emitera powinien zawierać znacznie więcej nośników większościowych niż obszar bazy. Dzięki temu prąd płynący od strony emitera może być nawet 10^3 – 10^5 razy większy niż prąd płynący od strony bazy. Do każdego z tych półprzewodników jest podłączona elektroda, wyprowadzona na zewnątrz obudowy tranzystora.

Na styku warstw półprzewodnikowych w tranzystorze powstają dwa złącza *p-n*, przez które dyfundują nośniki. Doprowadza to do powstania bariery ładunku i wynikającej z niej, napięcia elektrycznego między sąsiednimi obszarami tranzystora (Rys.2). Więcej o zjawiskach zachodzących na złączu *p-n* przeczytasz w e-materiale „Budowa diody". Z powodu powstania bariery ładunku, złącze *p-n* ma właściwość dobrego przewodzenia prądu tylko w jednym kierunku – od obszaru *p* do *n*.

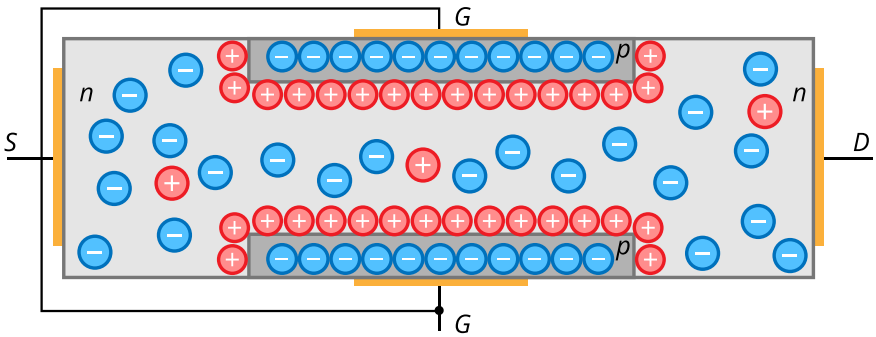


Rys. 2. Powstawanie bariery ładunku na złączach w tranzystorze bipolarnym na przykładzie tranzystora n-p-n.
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

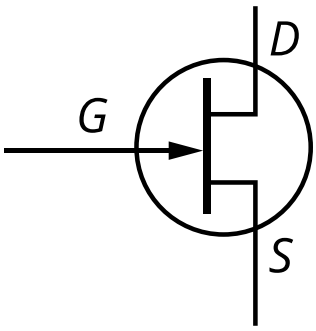
Taki rozkład ładunków i napięć w tranzystorze pozwala sterować prądem o stosunkowo dużym natężeniu (pomiędzy kolektorem i emiterem) za pomocą prądu o dużo mniejszym natężeniu (w układzie emiter – baza). Możliwość ta wynika z tego, że prąd płynący w układzie kolektor - baza wpływa na koncentrację nośników w obszarze bazy, co wpływa na możliwość przepływu prądu przez złącze baza kolektor. Szczegółowo o zasadzie działania tranzystora bipolarnego przeczytasz w e-materiałach „Zasada działania tranzystora typu *pnp*" i „Zasada działania tranzystora typu *npn*".

Tranzystory unipolarne (polowe) to tranzystory, w których sterowanie prądem odbywa się za pomocą pola elektrycznego, a przewodzenie prądu odbywa się dzięki jednemu rodzajowi nośników.

Jednym z typów tranzystorów polowych jest tranzystor JFET (ang. Junction Field Effect Transistor). Schemat budowy tego tranzystora przedstawia Rys.3.



Rys. 3a. Schemat budowy tranzystora unipolarnego JFET typu n – element odpowiedzialny za przewodzenie prądu wykonany jest z półprzewodnika typu n. Prąd przepływa między elektrodami S (źródło) i D (dren) po przyłożeniu między nimi napięcia, a wartość jego natężenia istotnie zależy od napięcia przyłożonego między elektrodami S i G (bramka).
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.



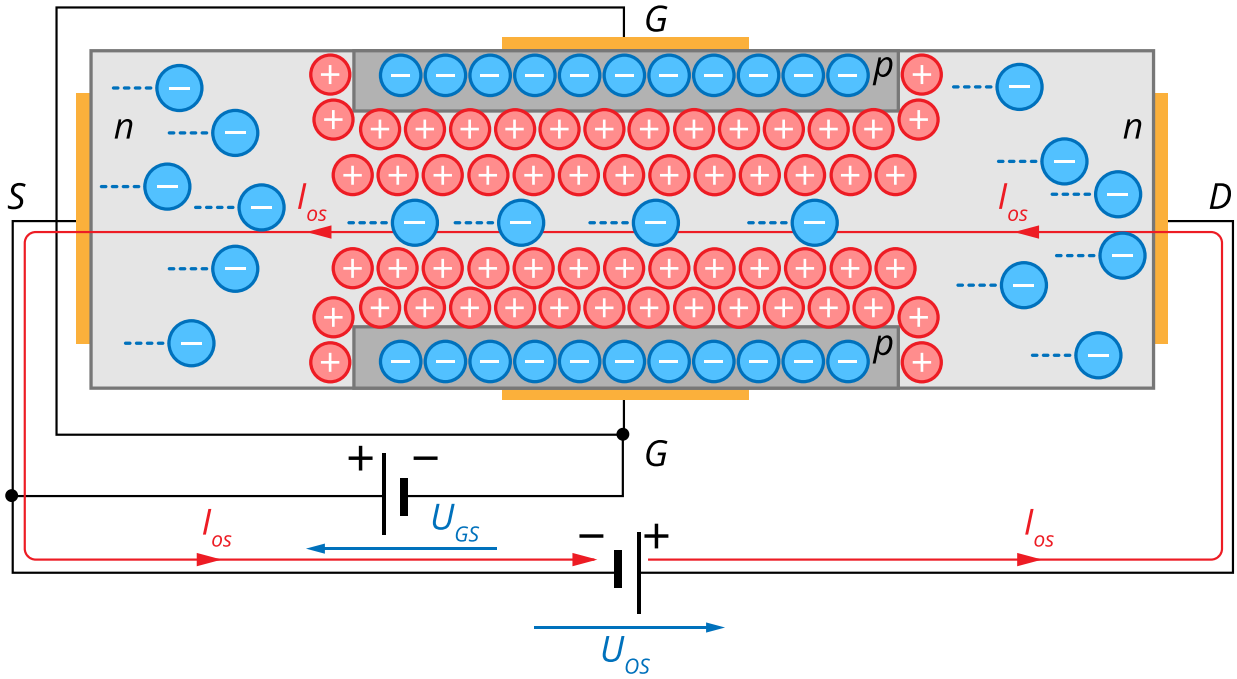
Rys. 3b. Symbol tranzystora JFET typu n.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Tranzystor JFET składa się z jednej, głównej warstwy półprzewodnika (zazwyczaj typu *n* ze względu na większą ruchliwości elektronów niż dziur i dzięki temu lepsze przewodzenie prądu przez półprzewodnik typu *n*), której zadaniem jest przewodzenie prądu. Po dwóch stronach tego głównego elementu wytwarzane są warstwy półprzewodnika drugiego typu stanowiące tak zwaną bramkę. W opisywanym przykładzie główna warstwa jest typu *n*, a bramka typu *p*. Warstwy typu *p* są ze sobą połączone przewodnikiem. Obszar półprzewodnika typu *n* pomiędzy bramką typu *p* nazywa się kanałem.

W tranzystorach polowych wyróżnia się trzy elektrody źródło – S (ang. source) i dren - D (drain), pomiędzy którymi ma płynąć prąd elektryczny, oraz bramkę G (gate), która steruje natężeniem prądu płynącego przez kanał.

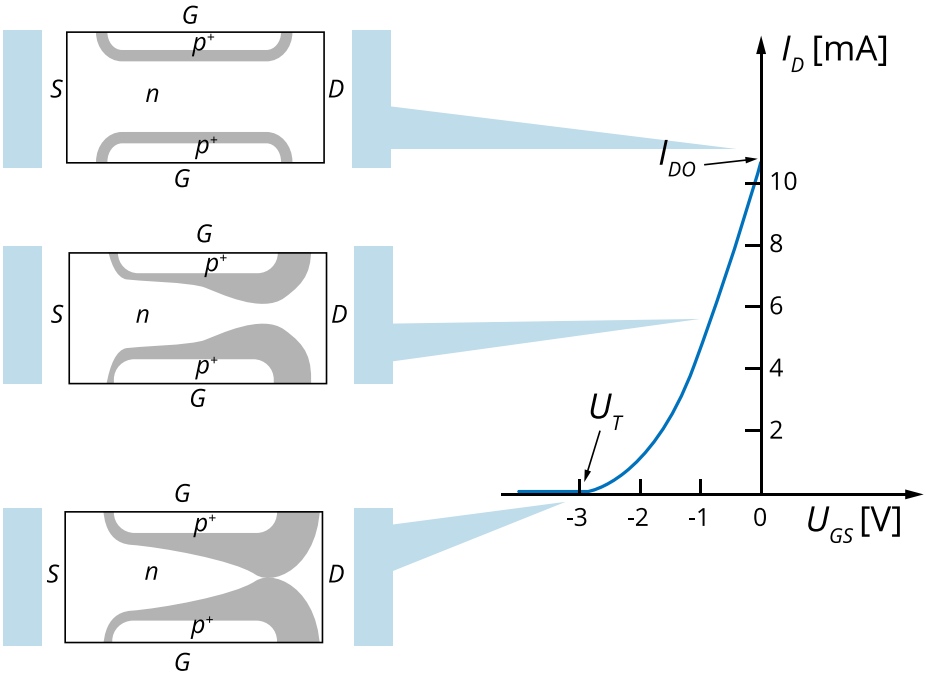
Dzieje się tak, ponieważ po przyłożeniu do bramki ujemnego napięcia, złącze między obszarami *p* bramki i *n* kanału zostanie spolaryzowane zaporowo. Powoduje to tworzenie się ładunku przestrzennego na złączu *p* - *n* i po stronie półprzewodnika *n* gromadzą się ładunki dodatnie – zwiększa się koncentracja dziur (Rys. 4).



Rys. 4. Powstawanie ładunku przestrzennego na złączu p-n w tranzystorze JFET typu n, blokującego przepływ prądu przez kanał tranzystora.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Dodatni ładunek przestrzenny w obszarze kanału, którego wielkość zależy od napięcia przykładanego między źródłem i bramką, „zatyka” kanał, utrudniając przepływ elektronom – zwiększa opór elektryczny kanału. Ten efekt daje możliwość sterowania natężeniem prądu między elektrodami S-D za pomocą napięcia przyłożonego do bramki, przy stałym napięciu między źródłem i drenem. Wpływ napięcia między źródłem i bramką na natężenie prądu płynącego między źródłem i drenem ilustruje wykres na Rys.5.



Rys. 5. Zależność natężenia prądu I_D przepływającego przez tranzystor JFET od napięcia U_{GS} przyłożonego między źródłem i bramką, przy ustalonym napięciu między źródłem i drenem. Rysunki po prawej stronie ilustrują stopniowe zatykanie kanału powodowane wzrostem napięcia między źródłem i bramką. U_T to napięcie źródło-bramka powodujące całkowite zatkanie kanału – prąd praktycznie przestaje płynąć. I_{D0} to natężenie prądu przy zerowym napięciu źródło – bramka.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Słowniczek

koncentracja nośników prądu

(*ang.: concentration of current carriers*) ilość nośników prądu w jednostce objętości.

nośniki większościowe

(*ang.: majority carriers*) nośniki ładunku elektrycznego w półprzewodnikach występujące w większości. Ich źródłem są atomy domieszek. W półprzewodnikach typu n nośnikami większościowymi są elektrony, w półprzewodnikach typu p – dziury. Koncentracja nośników większościowych jest w typowych półprzewodnikach około 10 miliardów razy większa niż nośników mniejszościowych, których źródłem są atomy samoistne półprzewodnika.

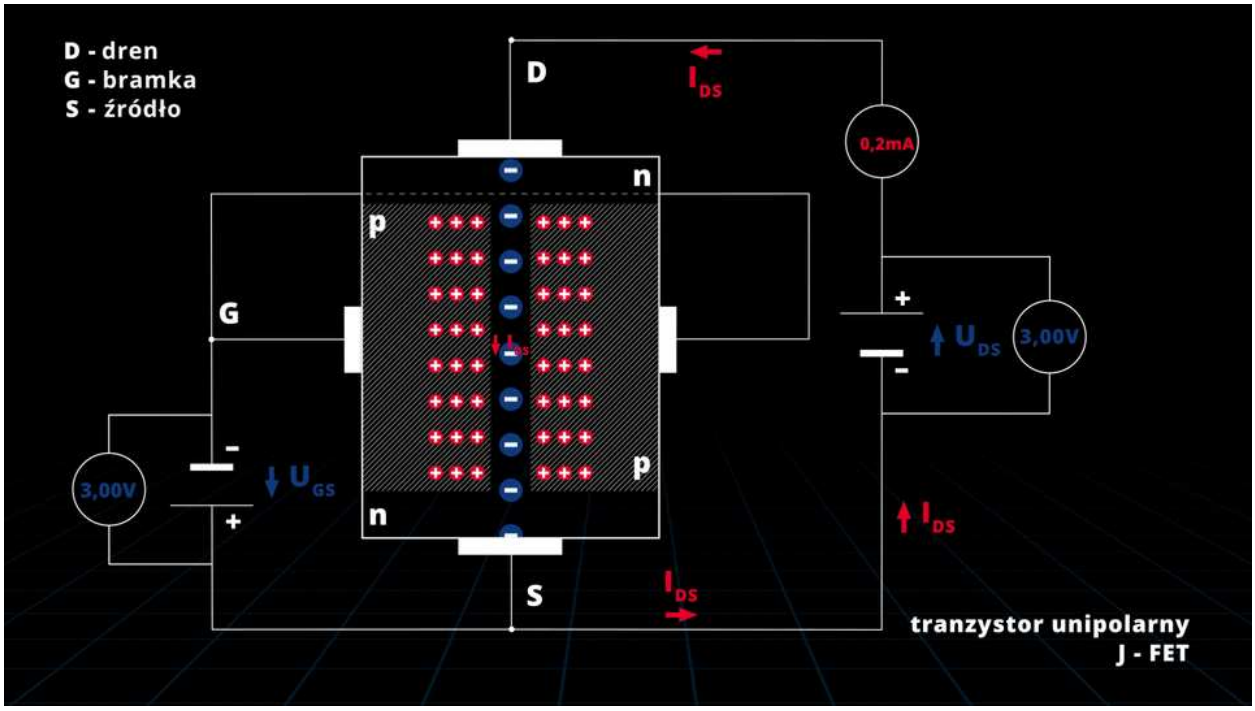
opór elektryczny (czynny)

(*ang.: resistance electric (active)*) wielkość charakteryzująca relację między napięciem a natężeniem prądu elektrycznego w obwodach prądu stałego. Zazwyczaj opór elektryczny oznacza się literą R i definiuje się wzorem $R = \frac{U}{I}$ gdzie: R – opór przewodnika elektrycznego, U – napięcie między końcami przewodnika, I – natężenie prądu elektrycznego.

Animacja

Czym jest tranzystor?

Animacja pokazuje kluczowy aspekt działania tranzystora unipolarnego JFET (ang. Junction Field Effect Transistor - tranzystor polowy złączowy). Tym aspektem jest wpływ napięcia sterującego (w obwodzie źródło–bramka) na natężenie prądu płynącego przez tranzystor (w obwodzie źródło-dren).
Zwróć uwagę, że zwiększanie napięcia zaporowego między źródłem i bramką zmniejsza natężenie prądu źródło-dren, aż do jego wyłączenia.



Film dostępny pod adresem /preview/resource/R4tm0CtD5xVOK

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.

Polecenie 1

Wskaż właściwe uzupełnienia zdań:

Przedstawiony w animacji tranzystor polowy jest typu n ☐ p ☐ mieszanego n/p ☐ mieszanego p/n ☐ .

W obwodzie źródło-dren napięcie U_{DS} jest podłączone w kierunku przewodzenia ☐ zaporowym ☐ to rozróżnienie nie stosuje się do tego obwodu ☐ .

W obwodzie źródło-bramka napięcie U_{GS} jest podłączone w kierunku przewodzenia ☐ zaporowym ☐ to rozróżnienie nie stosuje się do tego obwodu ☐ .

Polecenie 2

Uzupełnij skrótowy opis zasady działania tranzystora unipolarnego:

W animacji pokazano, że zwiększenie wartości napięcia U_{GS} _____ koncentrację _____ nośników w _____ tranzystora. Efektem tego jest poszerzenie obszaru tych nośników, co _____ przepływ ujemnych nośników pomiędzy źródłem a drenem.

utrudnia | zmniejsza | zwiększa | obszarze p | ujemnych | ułatwia | dodatnich | obszarze n

Polecenie 3

Dlaczego w animacji utrzymywana jest stała wartość napięcia U_{DS} pomiędzy źródłem S a drenem D tranzystora? Zapisz swoje uzasadnienie i porównaj z wzorcowym wyjaśnieniem.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Oceń prawdziwość zdań.

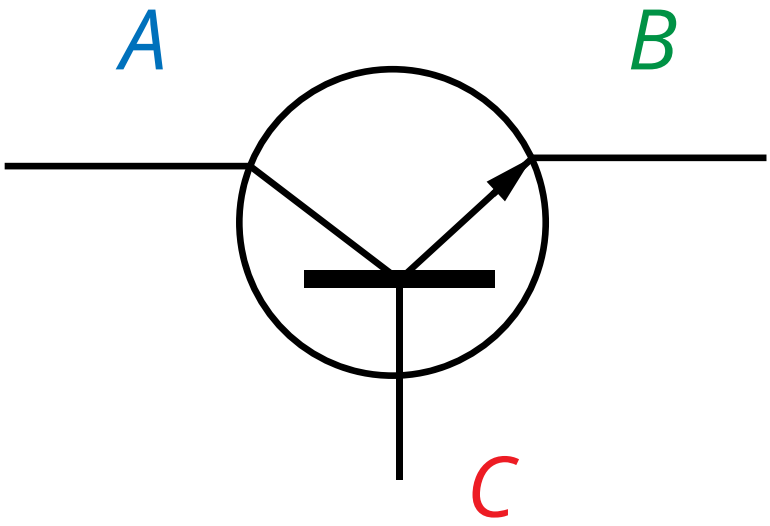
W półprzewodnikach występują dwa rodzaje nośników prądu. PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐

Tranzystory zazwyczaj składają się z dwóch rodzajów półprzewodników: *p i n*.

PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐

Ćwiczenie 2

Wstaw nazwy elektrod tranzystora bipolarnego: emiter, baza, kolektor.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

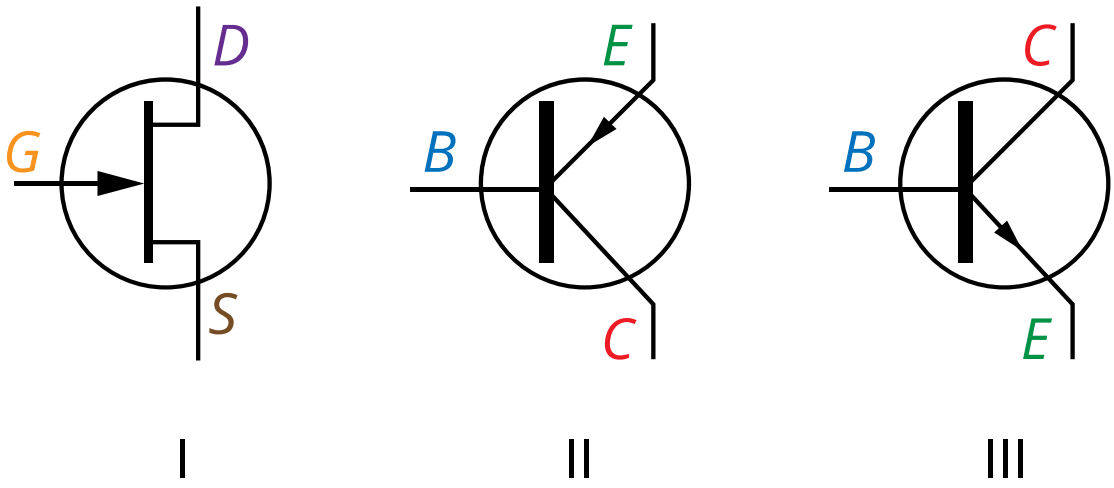
A -

B -

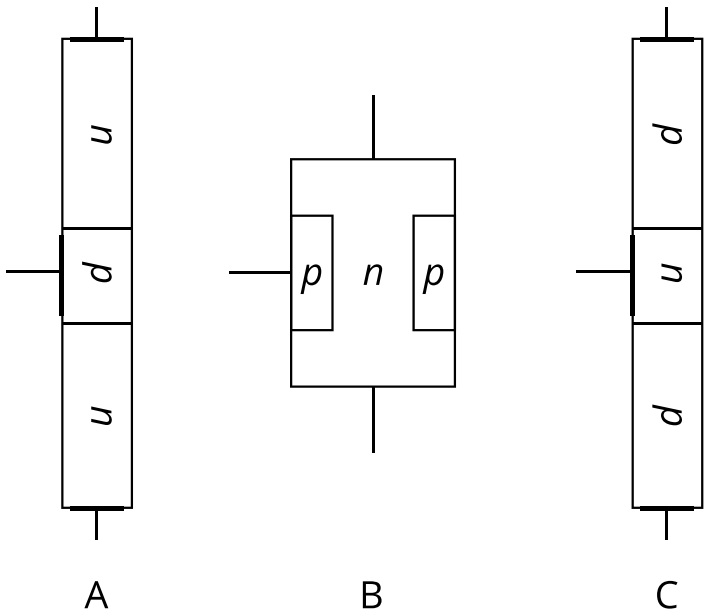
C -

Ćwiczenie 3

Dopasuj schemat tranzystora do symbolu:



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

III	C

II	B

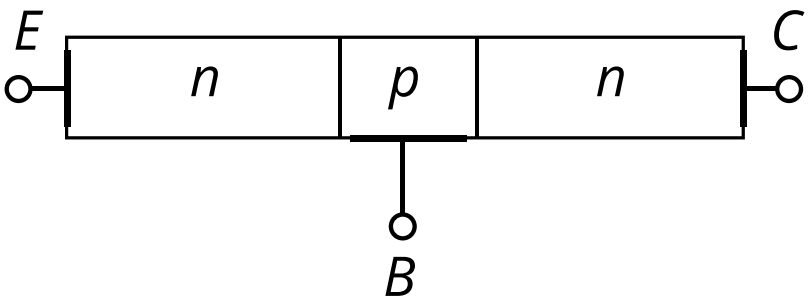
Ćwiczenie 4

Elektrodą odpowiedzialną za sterowanie natężeniem prądu w tranzystorze bipolarnym jest elektroda:

- kolektora
- bramki
- bazy
- emitera

Ćwiczenie 5

W tranzystorze *npn* występują dwa złącza *p-n*, które mają właściwość dobrego przewodzenia prądu w jednym kierunku.



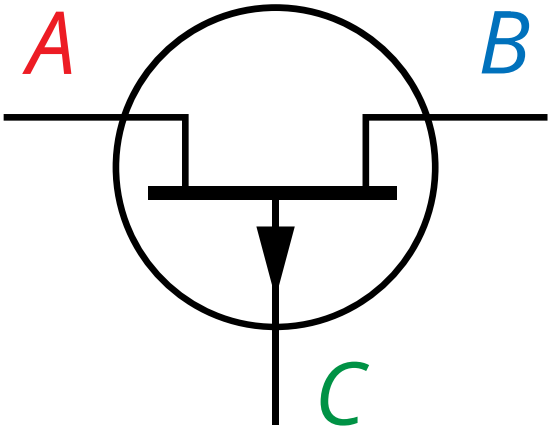
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Wskaż podłączenia napięcia do dwóch elektrod tranzystora, które zapewniają przepływ prądu przez tranzystor.

- [ ] "+" napięcia do bazy a "-" do emitera
- [ ] "+" napięcia do kolektora a "-" bazy
- [ ] "+" napięcia do emitera a "-" do kolektora
- [ ] "+" napięcia do bazy a "-" do kolektora

Ćwiczenie 6

Wstaw nazwy elektrod tranzystora unipolarnego JFET: źródło, bramka, dren.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

A -

B -

C -

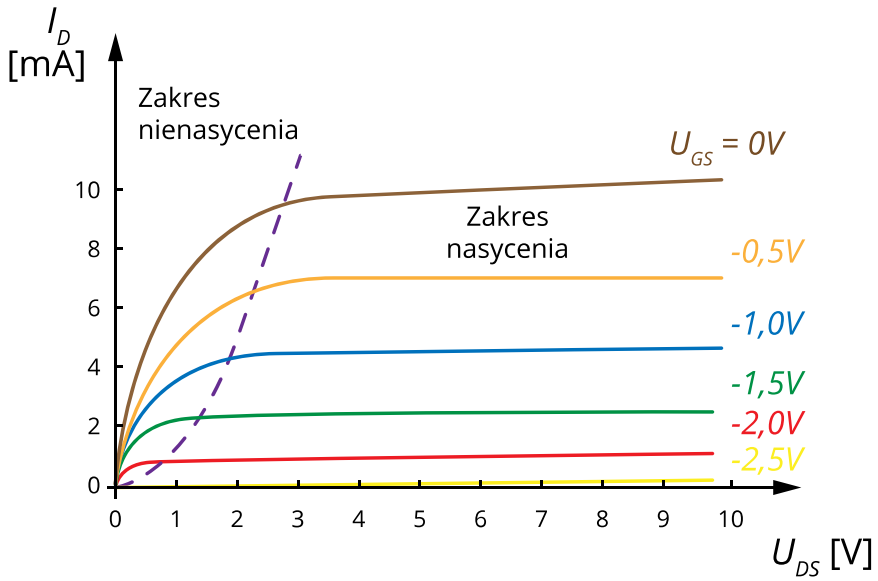
Ćwiczenie 7

Elektrodą odpowiedzialną za sterowanie natężeniem prądu w tranzystorze unipolarnym jest elektroda:

- kolektora
- drenu
- bramki
- bazy
- źródła

Ćwiczenie 8

Wykres przedstawia zależność natężenia prądu płynącego przez tranzystor JFET - I_D, od napięcia między źródłem i drenem U_{DS}, przy różnych wartościach napięcia między źródłem i bramką U_{GS}.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Na podstawie wykresu oszacuj, ile razy zmaleje natężenie prądu I_D, jeżeli wartość napięcia U_{GS} wzrośnie od 0,5 V do 2 V przy stałym napięciu U_{DS} = 5 V.
Wystarczy, że w odpowiedzi podasz liczbę całkowitą.

Natężenie zmaleje około _____ razy

Ćwiczenie 9

Czy zmieni się natężenie prądu płynącego przez tranzystor JFET, jeżeli zamienimy bieguny napięcia między źródłem i drenem? Zakładamy, że wartości napięć między źródłem i drenem oraz źródłem i bramką pozostają stałe. Odpowiedź uzasadnij.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	**Czym są tranzystory?**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. **Zakres podstawowy** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VII. Prąd elektryczny. Uczeń: 9) opisuje tranzystor jako trójelektrodowy, półprzewodnikowy element wzmacniający sygnał elektryczny. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VIII. Prąd elektryczny. Uczeń: 15)opisuje tranzystor jako trójelektrodowy, półprzewodnikowy element wzmacniający sygnały elektryczne.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	**Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.** • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. rozróżnia podstawowe typy tranzystorów; 2. opisuje jak są zbudowane tranzystory; 3. omawia zasadę działania tranzystorów; 4. analizuje i interpretuje schematy budowy tranzystorów. 5. wykorzystuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań;
Strategie nauczania	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania	wykład problemowy, burza mózgów
Formy zajęć:	praca zespołowa, praca w parach przy rozwiązywaniu zadań
Środki dydaktyczne:	schematy tranzystorów, symulacje i animacje ilustrujące działanie tranzystorów, zestawy zadań
Materiały pomocnicze:	rzutnik multimedialny, ekran, tranzystory
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Pytania nauczyciela: • Jakie znamy podstawowe właściwości półprzewodników *p i n*? • Jaki efekt powstaje na złączu *p-n*? Uczniowie przypominają podstawy budowy półprzewodników domieszkowych, opisują zjawiska zachodzące na złączu *p-n* i przedstawiają właściwości prostujące takiego złącza. Nauczyciel demonstruje, jak wyglądają różne tranzystory.	
Faza realizacyjna:	

Etap I.
Nauczyciel przedstawia schemat budowy tranzystora bipolarnego, nazwy jego obszarów i związanych z nimi elektrod (emiter, baza, kolektor).
Uczniowie analizują zjawiska zachodzące na złączach między obszarami i dostrzegają powstanie dwóch złączy *p-n*. Wskazuję znaczenie przeciwnej polaryzacji tych złączy.
Nauczyciel określa cel pracy tranzystora w postaci problemu: Jak można wpłynąć na natężenie prądu przepływającego od emitera przez bazę do kolektora bez zmiany przyłożonego napięcia pomiędzy tymi elektrodami?
Uczniowie, działając w konwencji burzy mózgów, przedstawiają pomysły na realizację tego celu. Nauczyciel na bieżąco ocenia pomysły, w razie potrzeby koryguje bądź precyzuje wypowiedzi, przedstawia odpowiednie schematy czy animacje.
Efektem tego etapu powinno być:
- po pierwsze, wskazanie zmian zachodzących w bazie w związku z obecnością prądu płynącego w obwodzie kolektor - baza;
- po drugie, wskazanie wpływu tych zmian na możliwość przepływu prądu przez oba złącza: emiter-baza oraz baza-kolektor.

Etap II.
Nauczyciel przedstawia schemat budowy tranzystora unipolarnego oraz nazwy jego obszarów i związanych z nimi elektrod (źródło, bramka, dren).
Uczniowie analizują zjawiska zachodzące na złączach między obszarami i dostrzegają powstanie dwóch złączy *p-n*.
Nauczyciel omawia, krok po kroku, zasadę działania tranzystora unipolarnego. Po każdym kroku uczniowie przewidują jego skutki oraz kolejny krok rozumowania.
Nauczyciel na bieżąco koryguje wypowiedzi uczniów, w razie potrzeby powołuje się na gotowe schematy czy animacje.
Efektem tego etapu powinno być wskazanie wpływu napięcia w obwodzie źródło-bramka na przepływ prądu przez kanał, wraz z możliwością praktycznie całkowitego zablokowania przepływu tego prądu za pomocą odpowiednio dobranego napięcia w obwodzie źródło-bramka.

Faza podsumowująca:

W celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości o tranzystorach uczniowie rozwiązują w parach zadania: 1, 2, 3, 4 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel, w razie potrzeby, wspomaga grupy i ewentualnie komentuje częściej spotykane trudności. Na zakończenie nauczyciel podsumowuje lekcję, ujawniając formalne jej cele. Zwraca uwagę, by każdy uczeń, wykonując pracę domową miał świadomość tych celów oraz stopnia ich osiągnięcia.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązali na lekcji: 5, 6, 7, 8 z zestawu ćwiczeń.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium	Multimedium może być wykorzystywane przy powtarzaniu wiadomości oraz na lekcjach, na których są omawiane zastosowania tranzystorów.