



Zasada działania tranzystora typu npn

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

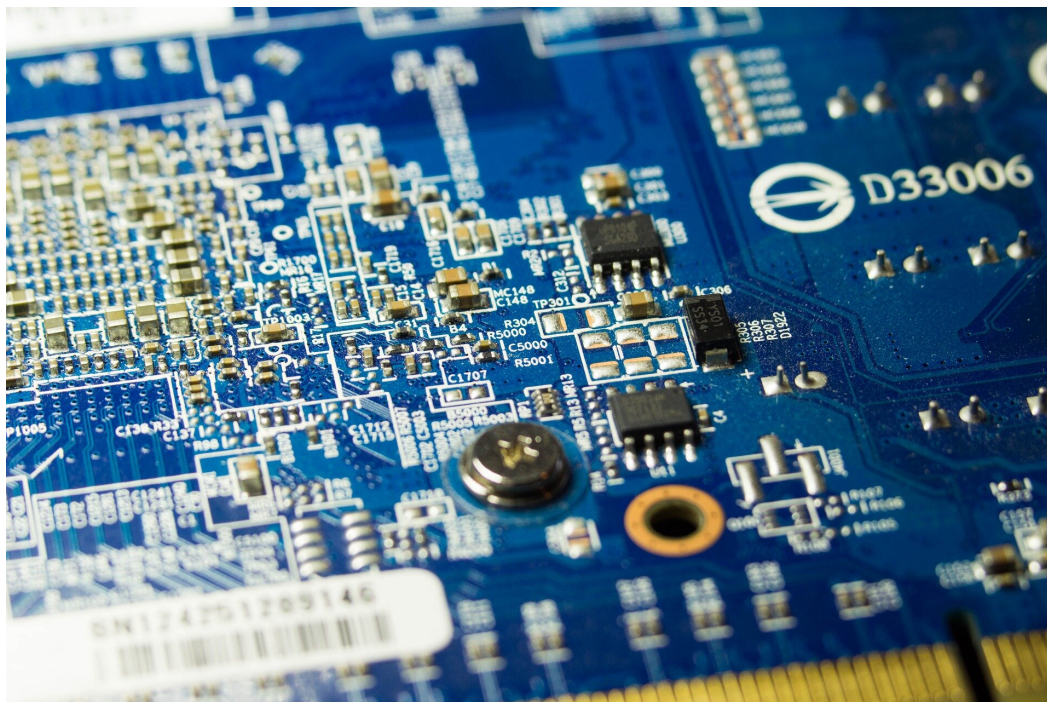


Zasada działania tranzystora typu npn

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 są jednym z podstawowych elementów w obwodach elektronicznych. Są stosowane nie tylko do wzmacniania sygnałów elektrycznych, ale także do sterownia przepływem prądów w obwodach jako klucze elektroniczne. Są też podstawowym elementem pamięci półprzewodnikowych. Z tranzystorów buduje się także elektroniczne bramki logiczne. Tak szerokie możliwości zastosowania wynikają z właściwości materiałów półprzewodnikowych, które wykorzystuje się w budowie tranzystorów. Jednym z typów tranzystorów jest bipolarny tranzystor *npn*.



Rys. a. Tranzystory stanowią jeden z podstawowych budulców współczesnych urządzeń elektronicznych.
Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/photos/transistors-gpu-pc-desktop-1137503/> [dostęp 13.07.2022].

Twoje cele

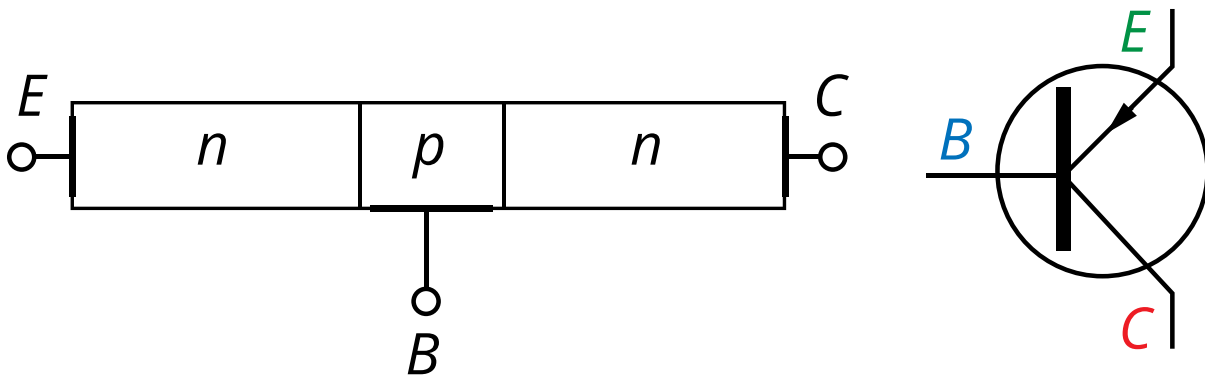
- poznasz budowę tranzystora *npn*,
- dowiesz się, jaką rolę pełnią emiter, baza i kolektor w tranzystorach *npn*,
- zrozumiesz zasadę działania tranzystorów *npn*,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz schematy budowy i działania tranzystorów *npn*,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów i zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Tranzystory są elementami elektronicznymi, których podstawową właściwością jest możliwość sterowania prądem o dużym natężeniu za pomocą prądu o małym natężeniu.

Tranzystor *npn* jest tak zwanym tranzystorem bipolarnym. W tego typu tranzystorach udział w przewodzeniu prądu mają dwa typy nośników prądu występujące w półprzewodnikach: elektrony i dziury. Są one wykonywane najczęściej z krzemu, ale także z innych półprzewodników, np.: germanu, arsenku galu, azotku galu. Powstaje on z połączenia trzech warstw półprzewodników *p* i *n* ułożonych w kolejności *n-p-n* (Rys.1.).



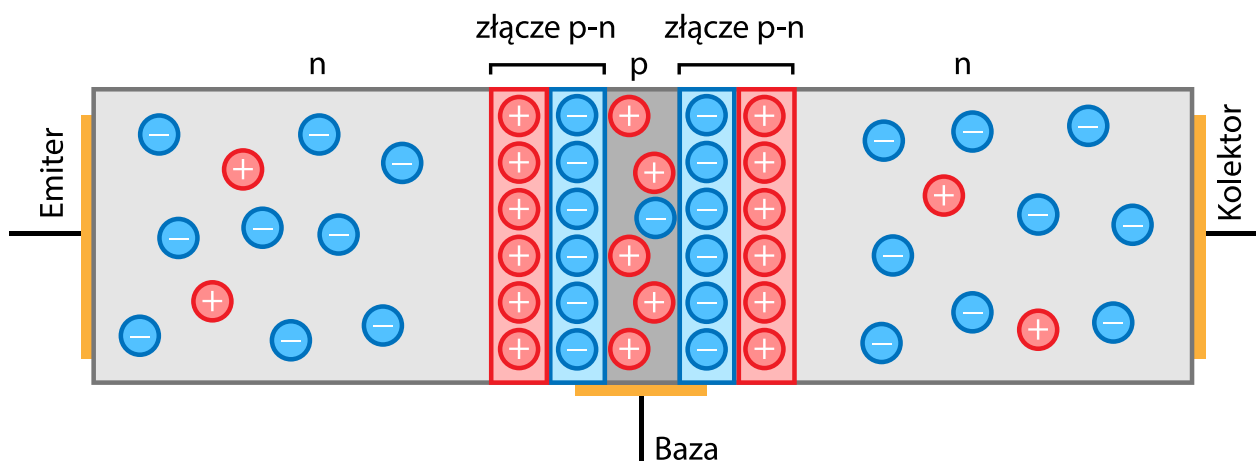
Rys. 1. Schemat układu warstw półprzewodnikowych w tranzystorze *npn* oraz symbol graficzny tego tranzystora. Litery E, B, C oznaczają obszary tranzystora i związane z nimi elektrody: E – emiter stanowi źródło dominujących nośników prądu w tranzystorze – w typie *n* są to elektrony, B – baza – steruje przepływem prądu przez tranzystor, C – kolektor – zbiera elektrony wypływające z emitera. Strzałka wskazuje kierunek dobrego przewodzenia prądu

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

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 możesz przeczytać w e-materiałach „Półprzewodniki typu *n*” i „Półprzewodniki typu *p*”.

Na styku warstw półprzewodnikowych w tranzystorze powstają dwa złącza *p-n*, przez które dyfundują nośniki. Doprowadza to do powstania bariery potencjału dla ładunku na złączach (Rys. 2.) i wynikającego z niej, napięcia elektrycznego między sąsiednimi obszarami tranzystora. Z powodu powstania bariery ładunku, złącze *p-n* ma właściwość

dobrego przewodzenia prądu tylko w jednym kierunku – od obszaru *p* do *n*. Więcej o zjawiskach zachodzących na złączu *p-n* przeczytasz w e-materiale „Budowa diody”.



Rys. 2. Schemat rozkładu ładunku w barierach powstających na złączach w tranzystorze *nnp*.

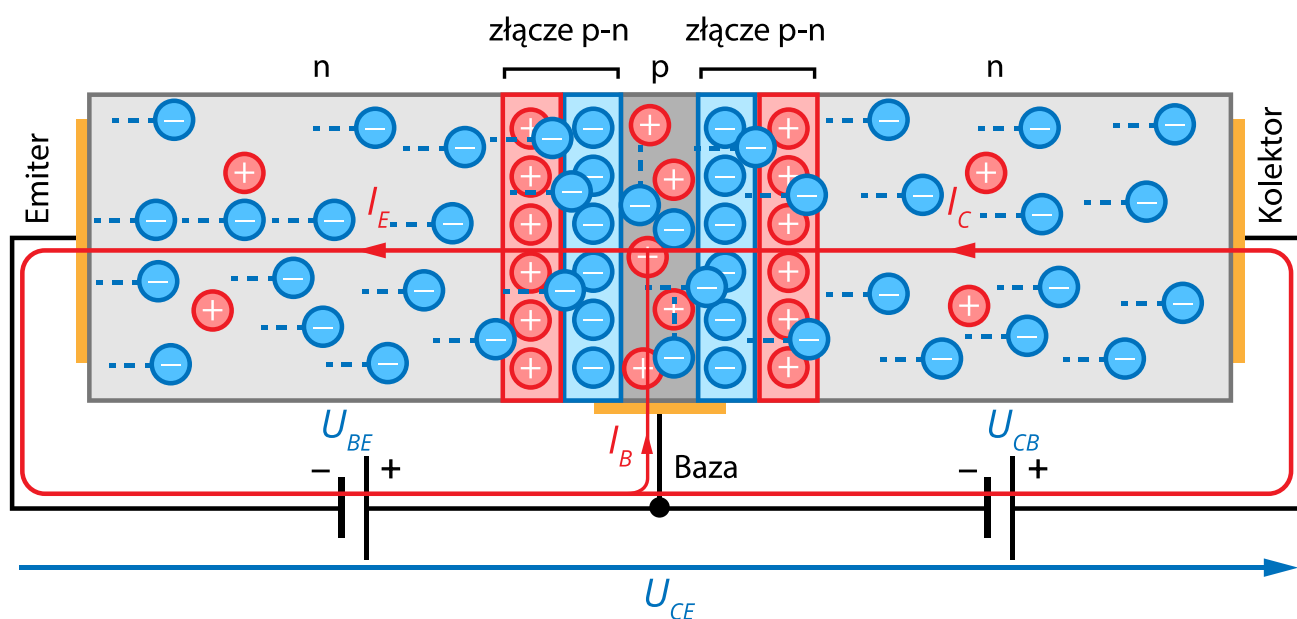
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Poszczególne warstwy tranzystora noszą nazwy odzwierciedlające ich rolę w działaniu tranzystora:

- **emiter** (oznaczony literą E) to warstwa silnie domieszkowana stanowiąca źródło nośników prądu,
- **baza** (oznaczona literą B) to warstwa cienka i słabo domieszkowana, której zadaniem jest sterowanie prądem przepływającym przez tranzystor,
- **kolektor** (oznaczony literą C) – „zbiera” ładunki przepływające przez tranzystor.

Warstwy zewnętrzne są stosunkowo grube – około 0,1 mm . Warstwa środkowa powinna być na tyle cienka, aby mogły przez nią dyfundować nośniki z emitera do kolektora. Jej grubość wynosi zazwyczaj około 0,01-0,03 mm. Znacznie większa **koncentracja nośników większościowych** w obszarze emitera (elektronów) niż w obszarze bazy (dziur) sprawia, że w układzie emiter-baza natężenie prądu przenoszonego przez elektrony płynące od strony emitera jest $10^3 - 10^5$ razy większe od natężenia prądu przenoszonego przez dziury płynące od strony bazy.

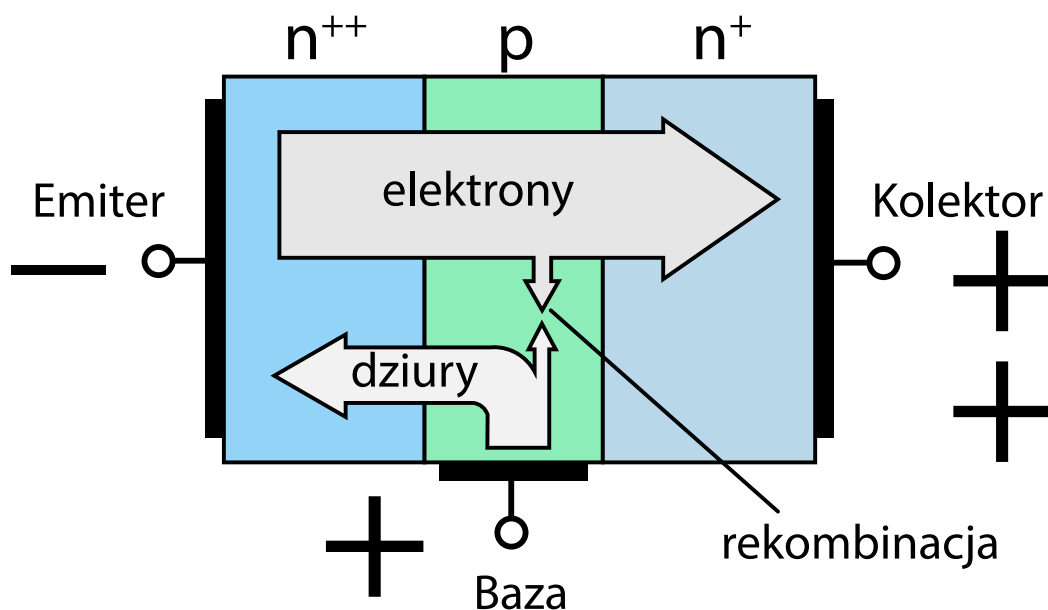
W trakcie normalnej pracy tranzystora *nnp* między emiterym a bazą podłącza się napięcie U_{BE} w kierunku **przewodzenia** złącza – „+” napięcia do bazy, „-” do emitera. Napięcie to w tranzystorach krzemowych wynosi około 0,6 V. Do złącza baza-kolektor napięcie U_{BC} jest podłączane w kierunku **zaporowym**. Napięcie to wynosi zazwyczaj około 10 V. Między emiterym i kolektorem „-” napięcia U_{EC} jest na emiterze, a „+” napięcia jest na kolektorze (Rys. 3.).



Rys. 3. Rozkład napięć zasilających i prądów w tranzystorze *npn* w czasie normalnej pracy. U_{BE} – napięcie między bazą i emiterem, U_{CB} – napięcie między bazą i kolektorem, U_{CE} – napięcie między kolektorem i emiterem, I_C – natężenie prądu płynącego przez kolektor, I_B – natężenie prądu płynącego przez bazę, I_E – natężenie prądu płynącego przez emiter.

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

Napięcie U_{BE} powoduje przepływ niewielkiego prądu I_B . Dzięki dużej koncentracji elektronów w obszarze emitera nośnikami tego prądu są przede wszystkim elektrony. Skutkiem tego prądu jest istotna zmiana koncentracji elektronów w obszarze bazy: od strony emitera koncentracja elektronów staje się większa niż od strony kolektora. Skutkiem różnic w koncentracji elektronów jest ich dyfuzja w kierunku kolektora. Elektrony, które docierają do styku baza-kolektor będą przez to złącze przepływać, ponieważ dodatnie napięcie kolektora w stosunku do bazy, wciąga je do kolektora – około 99% elektronów wypływających z emitera przechodzi do kolektora. Dzięki temu zwiększa się istotnie prąd kolektora. Niewielka część elektronów łączy się w obszarze bazy z dziurami – następuje zjawisko rekombinacji elektronów i dziur. W rezultacie przenikania elektronów w obszar kolektora, prąd kolektora jest znacznie większy od prądu bazy, a natężenie prądu płynący przez kolektor niewiele różni się od prądu płynącego przez emiter (Rys. 4.).



Rys. 4. Schemat ruchu nośników prądu w czasie normalnej pracy tranzystora *npn*. „-” i „+” przy elektrodach opisują rozkład napięć w tranzystorze, n^{++} oznacza silne domieszkowanie obszaru emitera w porównaniu z obszarem bazy i kolektora.

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

Ponieważ jednak ilość elektronów w obszarze bazy, które mogą przenikać do kolektora, zależy od natężenia prądu bazy, małe zmiany tego prądu wywołują duże zmiany natężenia prądu kolektora. Na tej zasadzie opiera się wzmacnianie **sygnałów** przez tranzystor: wzmacniany sygnał moduluje prąd bazy oraz wzmacniony sygnał odbierany jest z obwodu kolektora.

Współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora β wyraża się wzorem:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}.$$

Wartość współczynnika β zależy od typu tranzystora i wynosi zazwyczaj ponad 100.

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.

Kierunek (stan) zaporowy złącza $p-n$

(ang.: *the blocking direction (state) of the $p-n$ connector*) – stan, w którym do złącza $p-n$ przyłożone jest napięcie powodujące wzrost bariery ładunku i napięcia na złączu i złącze praktycznie nie przewodzi prądu. Płynie jedynie prąd o bardzo małym natężeniu – około $1\ \mu\text{A}$, przenoszony przez nośniki mniejszościowe, których źródłem są nie domieszki tylko atomy macierzyste półprzewodnika. W stanie zaporowym minus napięcia jest przyłożony do części p złącza a plus do części n .

Kierunek (stan) przewodzenia złącza $p-n$

(ang.: *conduction direction (state) of the $p-n$ connector*) – stan w, którym do złącza $p-n$ przyłożone jest napięcie powodujące zmniejszenie bariery ładunku i napięcia na złączu i złącze dobrze przewodzi prąd. W stanie przewodzenia „-” napięcia jest przyłożony do części n złącza, a „+” do części p .

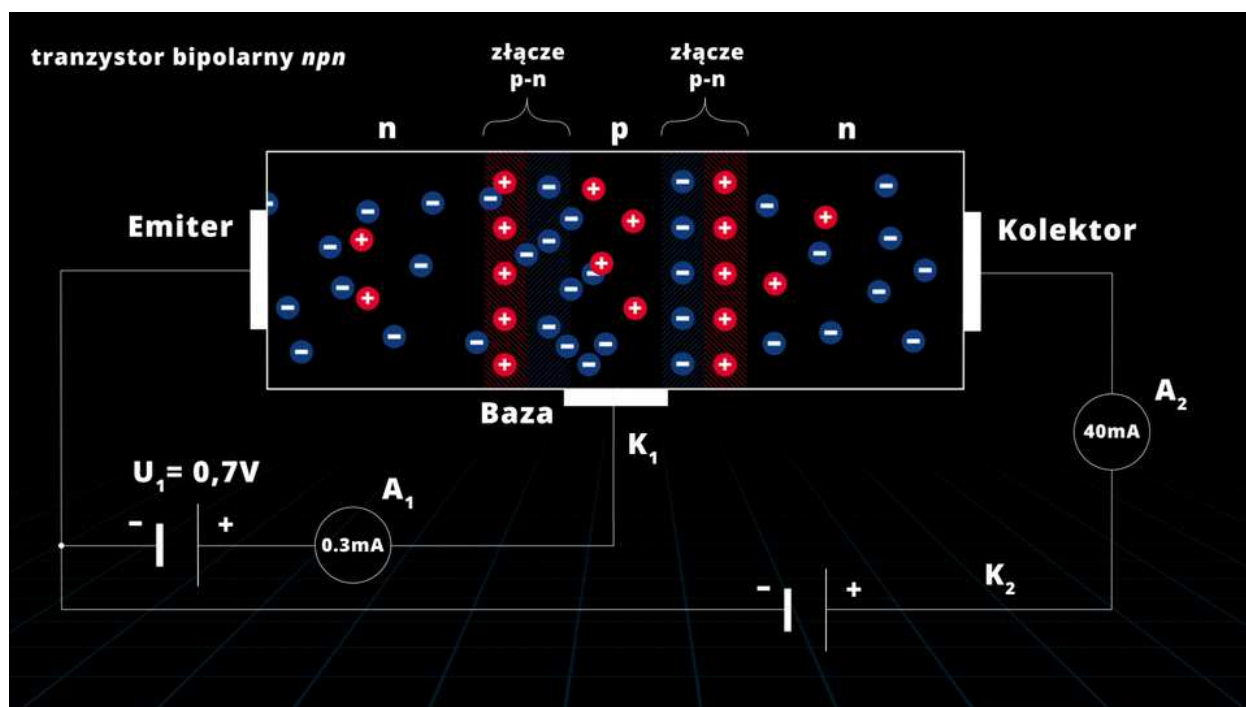
Sygnal elektryczny

(ang.: *electric signal*) – to zazwyczaj zmienny w czasie przebieg prądu elektrycznego, przenoszący informację. Sygnały mogą być opisane przebiegiem zależności napięcia elektrycznego lub natężenia prądu od czasu.

Animacja

Zasada działania tranzystora typu npn

Zapoznaj się z animacją, która pokazuje wpływ prądu bazy na prąd kolektora.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R7JYyZYTklumP](https://preview.resource/R7JYyZYTklumP)

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.

Polecenie 1

Czy przy włączonym kluczu K_1 i wyłączonym kluczu K_2 między bazą a emiterem będzie płynął prąd?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Tranzystor npn jest tak zwanym tranzystorem , w którym udział w przewodzeniu prądu mają dwa typy nośników: elektrony i . Składa się z typów półprzewodników ułożonych w warstwy.

trzech

trzy

dziury

bipolarnym

dwóch

polarnym

protony

dwie

neutrony

Ćwiczenie 2



W tranzystorze *npn* najsilniej domieszkowanym obszarem jest obszar:

☐ kolektora

☐ emitera

☐ wszystkie są domieszkowane w przybliżeniu jednakowo

☐ bazy

Ćwiczenie 3



W tranzystorze *npn* można wyróżnić trzy natężenia prądu: prąd emitera – I_E , prąd bazy I_B i prąd kolektora I_C . U szereguj natężenia tych prądów rosnąco, gdy tranzystor jest w trybie pracy.

< <

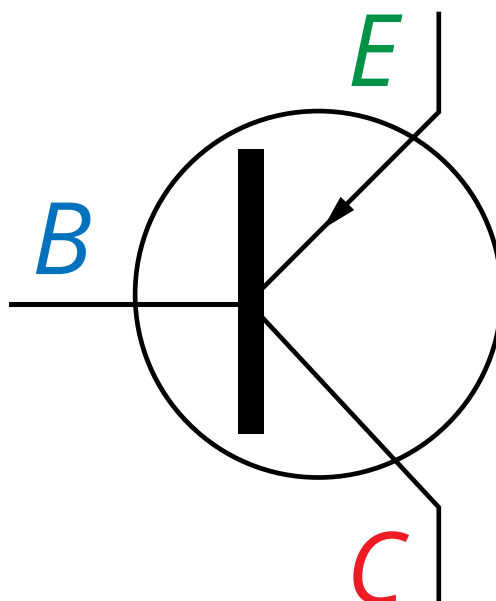
I_E

I_B

I_C



Co oznaczają litery E, B, C i strzałka na symbolu graficznym tranzystora *npn*?



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

C

emiter

B

baza

→

kolektor

E

kierunek dobrego przewodzenia prądu

Ćwiczenie 5



Wskaż poprawną odpowiedź:

Jeżeli w tranzystorze *npn* podłączymy napięcie tylko między emiter i kolektor, plus napięcia do kolektora a minus do emitera, to przez tranzystor:

- ☐ prąd praktycznie nie popłynie ponieważ złącze emiter-baza będzie w stanie zaporowym
- ☐ popłynie prąd o dosyć dużym natężeniu, ponieważ złącze emiter-baza będzie w stanie przewodzenia
- ☐ prąd praktycznie nie popłynie ponieważ złącze baza-kolektor będzie w stanie zaporowym
- ☐ popłynie prąd o dosyć dużym natężeniu ponieważ złącze baza-kolektor będzie w stanie przewodzenia

Ćwiczenie 6



Baza w tranzystorze musi być cienka, ponieważ:

- ☐ ułatwia to przenikanie dziur z obszaru bazy do obszaru emitera
- ☐ utrudnia to przenikanie dziur z obszaru kolektora do obszaru emitera
- ☐ ułatwia to przenikanie elektronów z obszaru emitera do obszaru kolektora
- ☐ ułatwia to przenikanie elektronów z obszaru emitera do elektrody bazy

Ćwiczenie 7



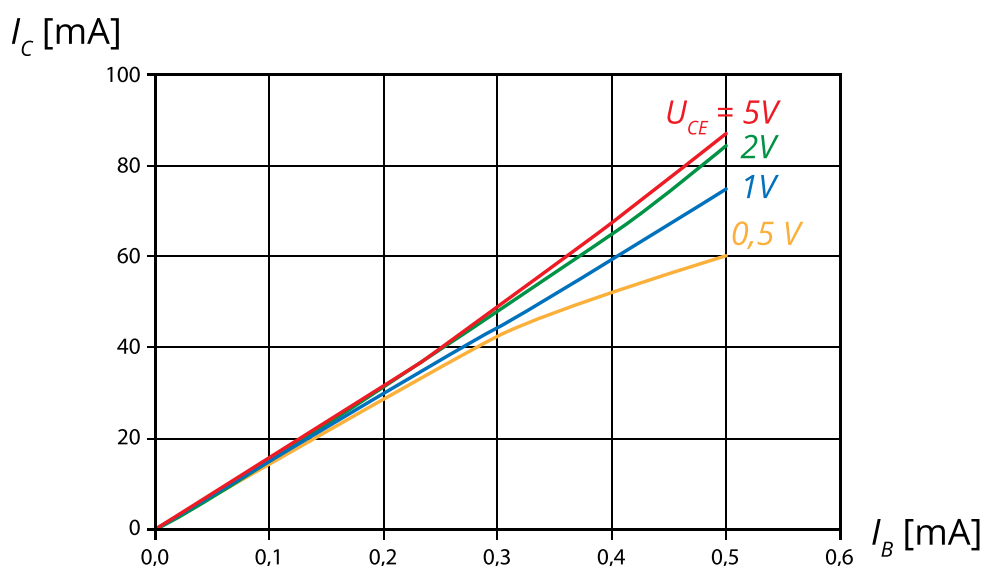
W czasie normalnej pracy tranzystora z obszaru emitera do obszaru kolektora przenika około:

- ☐ 99% elektronów wyływających z emitera
- ☐ 75% elektronów wyływających z emitera
- ☐ 1% elektronów wyływających z emitera
- ☐ połowa elektronów wyływających z emitera

Ćwiczenie 8



Wykres przedstawia przykładową charakterystykę przejściową tranzystora. Pokazuje ona zależność natężenia prądu kolektora I_C od natężenia prądu bazy I_B przy ustalonych wartościach napięcia kolektor-emiter U_{CE} – każda linia na wykresie odpowiada innej wartości tego napięcia.



Charakterystyka przejściowa tranzystora bipolarnego npn (BD145)

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

Na podstawie wykresu oszacuj współczynnik wzmocnienia prądowego dla tego tranzystora, przy napięciu $U_{CE} = 1V$. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Odp.: Współczynnik wzmocnienia prądowego $\beta =$.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Tranzystor npn
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. 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 sygnały elektryczne. 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. podaje rolę emitera, bazy i kolektora w tranzystorach npn, 2. wyjaśnia, jak są zbudowane tranzystory npn, 3. tłumaczy zasadę działania tranzystorów npn, 4. analizuje i interpretuje schematy budowy i działania tranzystorów npn, 5. stosuje 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 budowy tranzystora npn, animacja ilustrująca działanie tranzystora, przykładowe tranzystory, zestawy zadań
Materiały pomocnicze:	rzutnik multimedialny, ekran
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Pytania nauczyciela: 1. Co wiecie na temat półprzewodników i złącza między półprzewodnikami p i n? Uczniowie z pomocą nauczyciela przypominają i porządkują wiadomości o materiałach półprzewodnikowych i zjawiskach zachodzących na złączu p-n. 2. Co to znaczy wzmocnić sygnał elektryczny? Uczniowie z pomocą nauczyciela ustalają, co to jest sygnał elektryczny i na czym polega jego wzmacnianie.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel przedstawia schemat budowy tranzystora npn, uczniowie analizują powstanie barier ładunków na złączach.

Uczniowie na podstawie animacji analizują ruch nośników prądu w czasie pracy tranzystora i dostrzegają wpływ prądu bazy na prąd kolektora.

Uczniowie, z pomocą nauczyciela, formułują wniosek o związku między prądem bazy i prądem kolektora.

Nauczyciel przedstawia krótko zastosowania tranzystorów jako wzmacniaczy i kluczy.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w parach rozwiązują zadania 1, 2, 3, 4 z zestawu ćwiczeń.

Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy (jakiej i kiedy). W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.

Praca domowa:

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

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystywane przy powtarzaniu wiadomości i na lekcjach, na których są omawiane budowa i zastosowania tranzystorów.