

# Elektronika Molekularna

# Plan wypowiedzi

- słowo o miniaturyzacji
- definicja zagadnienia
- podział elektroniki
- opis elementów:
  - \* przełącznik
  - \* połączenia elektryczne
  - \* oporniki
  - \* diody
  - \* bramki logiczne
- prosty układ logiczny, molekularny.

Jedna z wersji prawa Moore'a głosi, że liczba tranzystorów w układach scalonych podwaja się co 18 do 24 miesięcy. Wkrótce jednak prawo Moore'a zmusi nas do zrezygnowania z używania krzemu do produkcji podzespołów elektronicznych...

Obecnie stosowane procesy technologiczne bliskie są już granicy możliwości krzemowej elektroniki - niektórzy twierdzą, że jest nią 0,07 mikrona. Coraz bardziej realna jest też bariera finansowa - zmniejszenie wymiaru technologicznego o jeden krok powoduje wykładniczy wzrost kosztów uruchomienia produkcji. Obecnie mówi się o kilku miliardach dolarów, za 10-15 lat może być to już... kilkaset miliardów! Czy ludzkość wysupła tyle na nową fabrykę Intela? Być może nie będzie to potrzebne. Okazuje się, że można tworzyć elementy cyfrowe dziesiątki czy nawet setki tysięcy razy mniejsze od submikronowych tranzystorów. Wkraczamy w świat mikroelektroniki molekularnej.

Wykorzystanie cząsteczek w roli elementów elektronicznych pozwoliłoby zwiększyć ich upakowanie kilkadziesiąt tysięcy razy w stosunku do krzemowych odpowiedników!

elektrony w cząsteczkach mogą przybierać pewne ściśle określone poziomy energetyczne, związane z zajmowanym orbitalem. Kształt orbitalu związany jest zaś z geometrią, a co za tym idzie, właściwościami cząsteczki - i odwrotnie

Elektronika molekularna – Elementy elektroniczne zależą od organizacji molekuł.

magnesy,  
ferroelektryki...

Kable, diody,  
tranzystory...

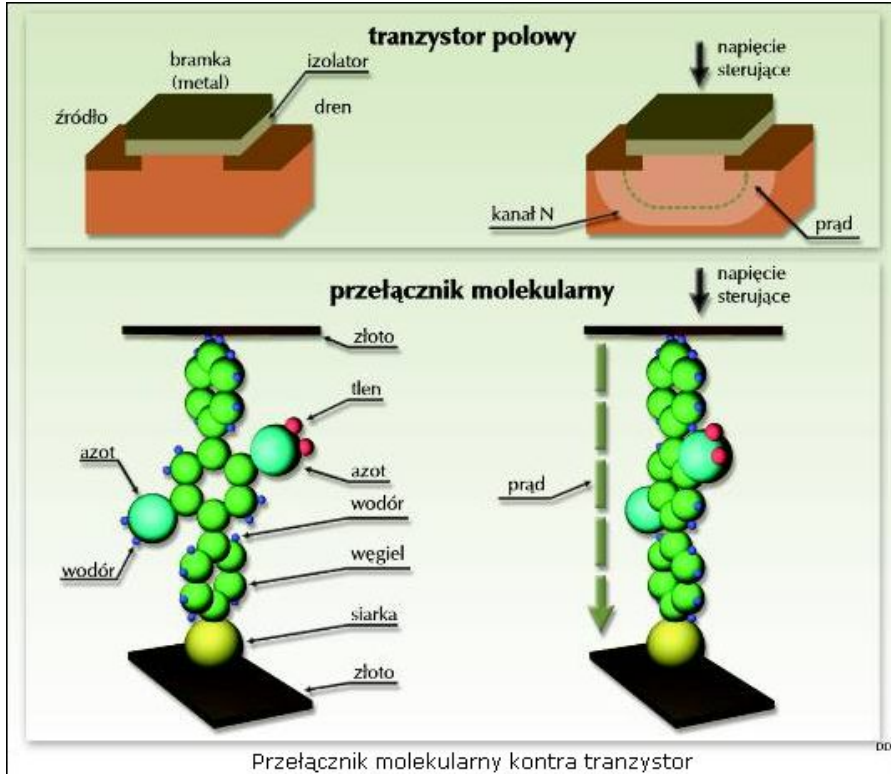
Optoelektronika:  
czujniki...



W lipcu 1999 r. naukowcy pracujący w laboratoriach Hewlett-Packarda zbudowali elektroniczny przełącznik składający się z warstwy kilku milionów cząsteczek organicznej substancji zwanej rotaksanem. Łącząc kilka takich przełączników, stworzyli bramkę AND.

dawała się przełączyć tylko jeden raz, niemniej jednak zadziałała zgodnie z oczekiwaniami.

Kilka miesięcy później grupy naukowców z amerykańskich uniwersytetów Yale i Rice stworzyły przełącznik "wielorazowego użytku". Miesiąc później cząsteczkę przekonstruowano w ten sposób, że mogła pełnić rolę podstawowej komórki pamięci.



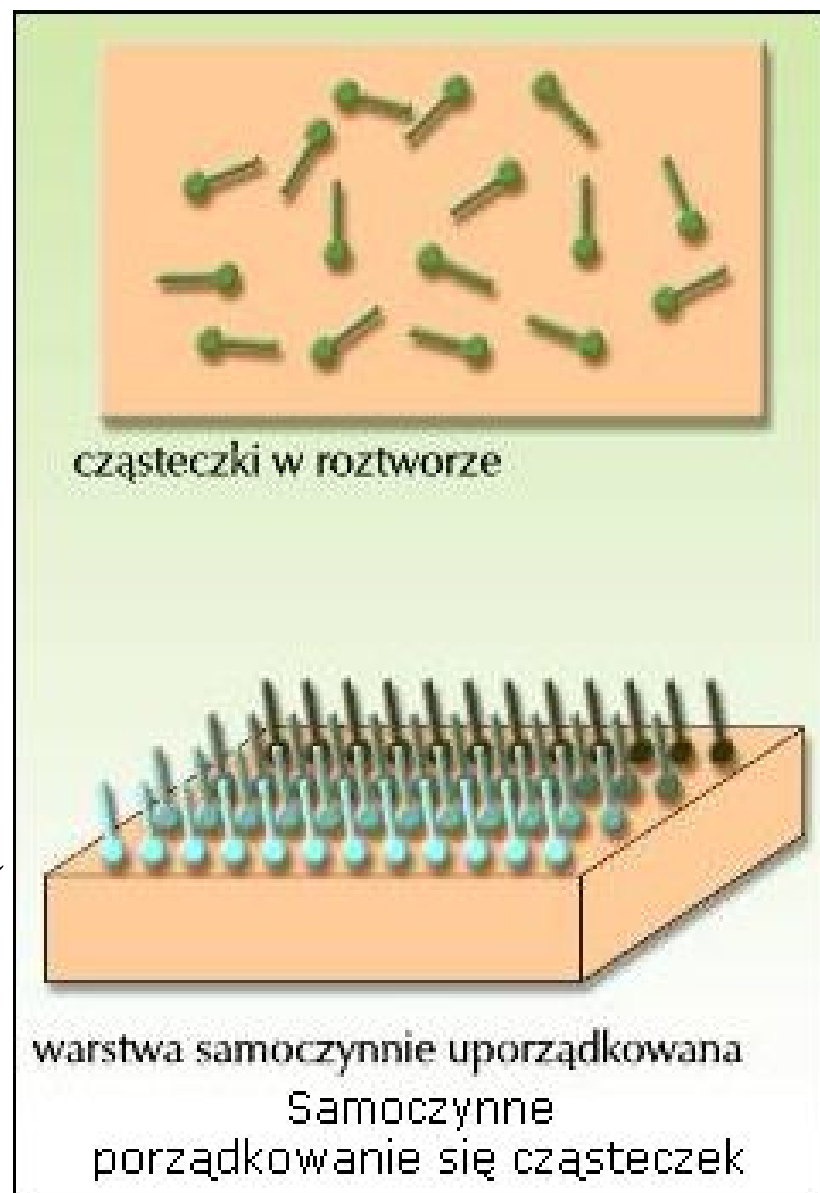
Do stworzenia przełącznika wykorzystano również substancję organiczną - nitroaminobenzotiol, cząsteczkę zawierającą trzy łańcuchy benzenowe z doczepionymi po przeciwnych stronach środkowego łańcucha: grupą nitrową (NO<sub>2</sub>) i aminową (NH<sub>2</sub>) oraz grupą tiolową na końcu. Grupa tiolowa pełniła rolę "kleju" łączącego cząsteczkę ze złotą elektrodą, zaś grupy azotynowa i aminowa uczyniły cząsteczkę wrażliwą na pole elektryczne. Przyłożenie odpowiedniego napięcia powoduje skrócenie cząsteczki, deformację orbitali i blokuje przepływ prądu - mamy logiczne zero. Po zmniejszeniu napięcia cząsteczka wraca do pierwotnego kształtu, prąd płynie, mamy logiczną jedynkę. "Przewodnikiem" jest tu koniugacja pustych, niskoenergetycznych orbitali pi, która przestaje istnieć przy skróceniu cząsteczki.

Niemal identyczna cząsteczka, jednak bez grupy aminowej, okazała się znakomitą komórką pamięci. Obecność lub brak ładunku w środkowym węźle w analogiczny jak wyżej sposób reguluje przepływ prądu - przy czym stan logiczny pamiętany jest niemal dziesięć minut! Dla porównania, zawartość pamięci DRAM musi być odświeżana co kilka-kilkadziesiąt milisekund...

Jak tworzy się takie konstrukcje:

Do roztworu substancji dodaje się kolejno określone odczynniki, o których wiadomo, że dołączają się w odpowiednich miejscach cząsteczki. Właściwości substancji bada się następnie metodami spektroskopii podczerwonej, rezonansu magnetycznego, spektrometrii masowej.

Do osadzenia otrzymanych elementów na elektrodach wykorzystuje się zdolność cząsteczek do samoorganizacji. Temu właśnie służy umieszczona na końcu wspomnianej wyżej cząsteczki grupa tiolowa - po zanurzeniu złotej płytki w roztworze, cząsteczki przyklejają się do niej końcami jedna koło drugiej, tworząc sterczący pionowo "las". Oczywiście płytka nie musi być jednolita - może to być równie dobrze otrzymana np. za pomocą konwencjonalnej fotolitografii siatka połączeń.



## Parametry:

Cząsteczkę złożoną z pojedynczego pierścienia benzenowego z dwiema grupami tiolowymi dołączonymi po przeciwnych stronach zbadano za pomocą tunelowego mikroskopu skaningowego (być może użycie mikroskopu w charakterze amperomierza wydaje się niecodziennym rozwiązaniem, ale właśnie tak się to robi). Cząsteczka okazała się mieć opór rzędu dziesiątek megaomów.

Stwierdzono, że jest ona w stanie wytrzymać przepływ prądu o natężeniu 0,2 mikroampera przy napięciu 5 woltów - co oznacza przejście przez nią biliona elektronów, jednego po drugim, w ciągu sekundy. Przy okazji zauważono, że przepływ elektronów nie spowodował wydzielania się ciepła, które mogłoby powstawać przy zderzeniach. Bardzo dobre okazały się też charakterystyki przełączania wspomnianej cząsteczki. Stosunek prądów w stanie włączonym i wyłączonym wynosił 1000, tymczasem parametr ten dla analogicznego urządzenia wykonanego z konwencjonalnych półprzewodników (rezonującej diody tunelowej) wynosi około 100.

# Molekularne połączenia

Podstawowym elementem każdego systemu elektronicznego, czy to w mikro, czy w makro skali są połączenia elektryczne pomiędzy poszczególnymi elementami elektronicznymi. Im bardziej dany system jest skomplikowany tym bardziej skomplikowana jest topologia jego połączeń. Tradycyjnie przyzwyczajeni jesteśmy do połączeń metalowych np. miedzianych. Okazuje się jednak, że połączenia mogą być realizowane za pomocą związków organicznych.



Benzen  
 $C_6H_6$



Podstawową jednostką składową przewodów molekularnych jest cząsteczka benzenu o wzorze  $C_6H_6$  przedstawiona na Rys. Jest to sześcioboczny pierścień złożony z atomów węgla, w którym każdy z atomów węgla jest połączony z jednym atomem wodoru.

Usunięcie jednego z atomów wodoru powoduje powstanie tzw. grupy fenylovej o wzorze  $C_6H_5$  która może wykorzystać uwolnione wiązanie do przyłączenia innych grup aromatycznych. Częsteczka taka pokazana jest na Rys. (b), kropką oznaczono wolny orbital walencyjny, który może posłużyć do utworzenia wiązania. Odłączenie dwóch atomów wodoru z benzenu tworzy cząsteczkę o wzorze  $C_6H_4$  zwaną fenylenem pokazaną na Rys. (c). Jak widać na rysunku posiada ona dwa wolne wiązania. Wiele takich cząsteczek ma tendencje do łączenia się w długie łańcuchy.

(b)

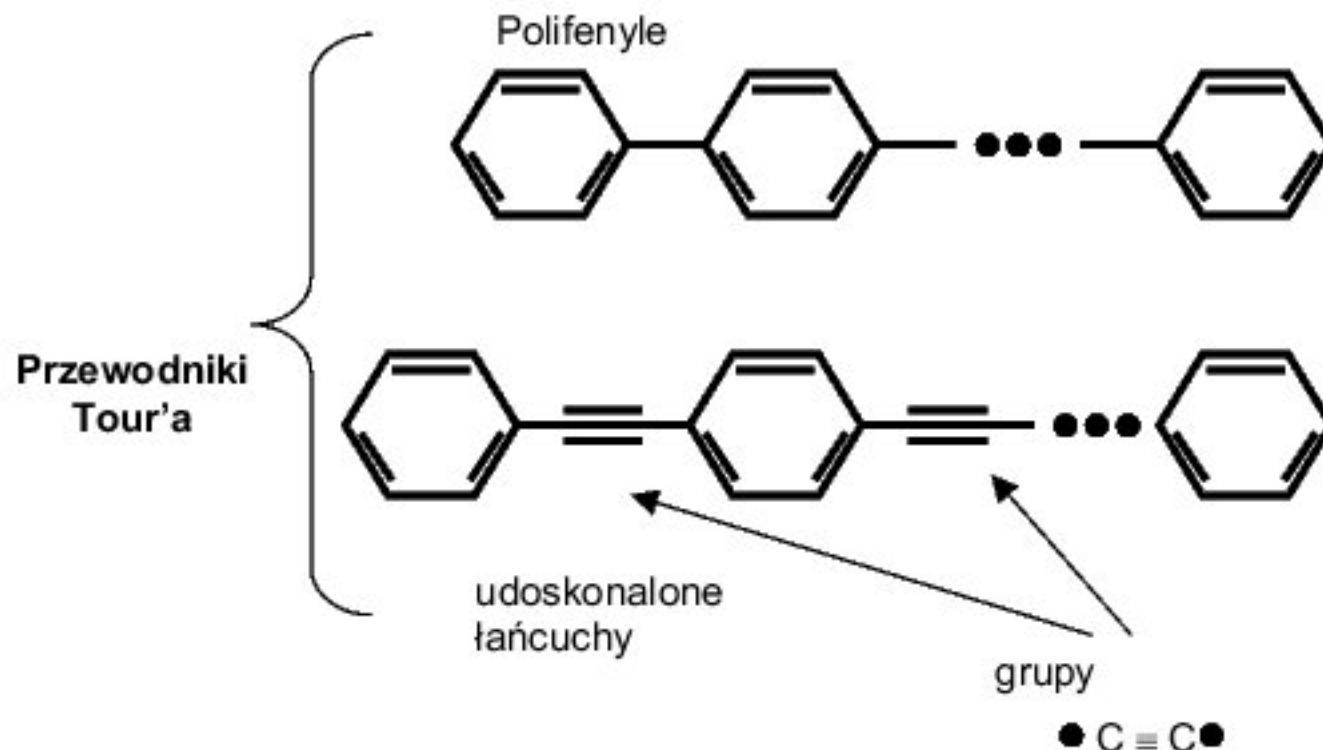
grupa fenylovej  
 $C_6H_5$



(c)

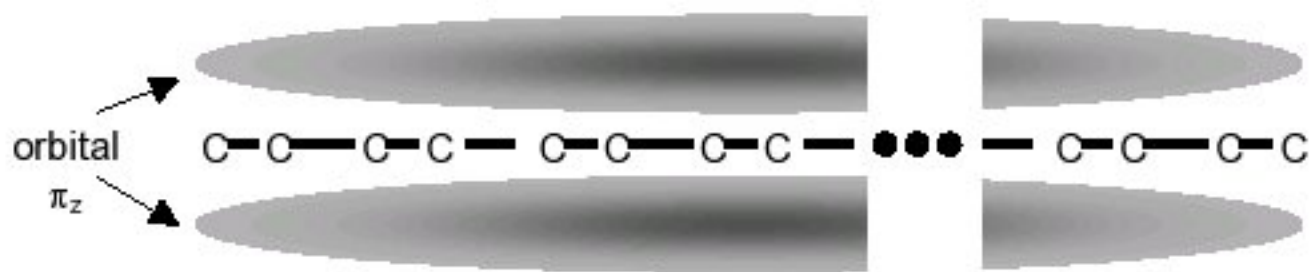
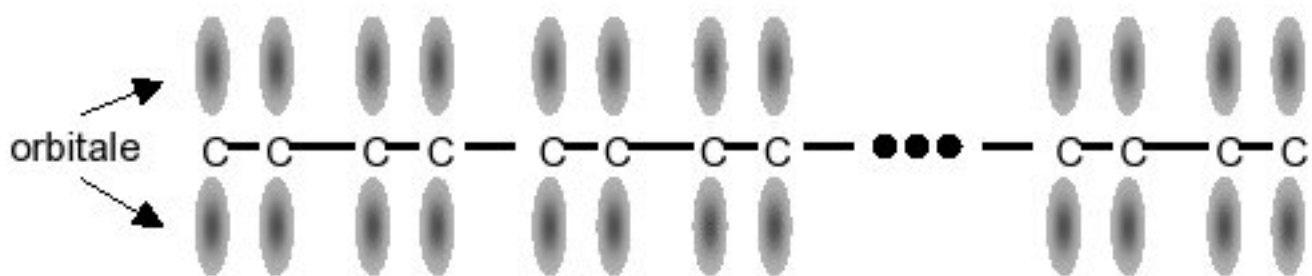
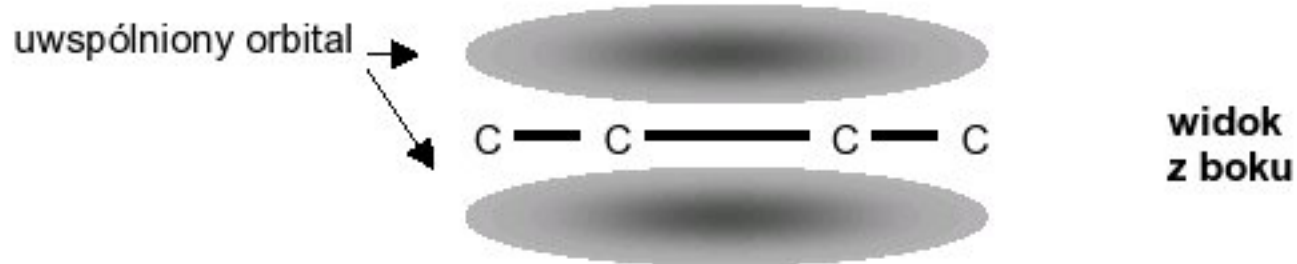
grupa fenylenowa  
 $C_6H_4$





Łańcuchy takie przedstawione na Rys. (d) nazywamy polifenylem. Możliwe jest wzbogacenie łańcucha połączonych pierścieni aromatycznych przez wstawienie pomiędzy grupy fenylenowe innych np. grup etylenowych, które łączą się ze sobą wiązaniem podwójnym, lub grup acetylenowych które są połączone potrójnie. Struktura taka jest pokazana na Rys. 2.1(d). Takie właśnie łańcuchy polimerowe nazywane są przewodnikami Tour'a (*ang. Tour Wire*) od nazwiska ich odkrywcy i badacza J.M.

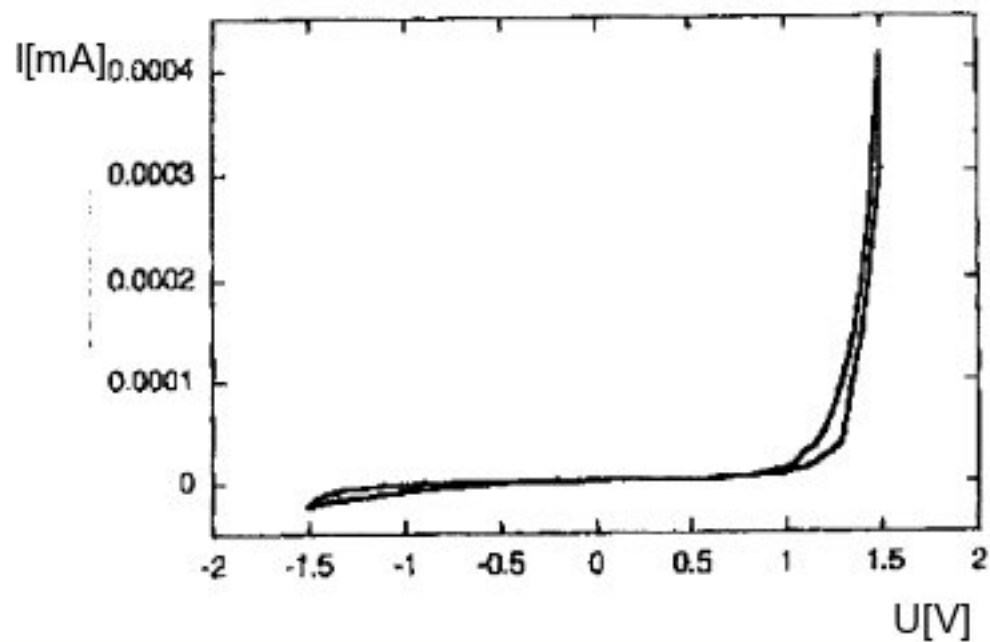
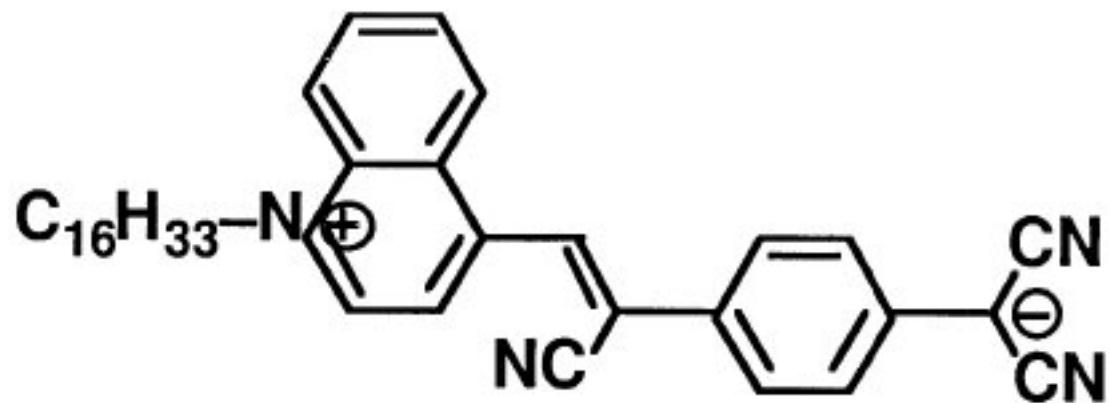
Toura

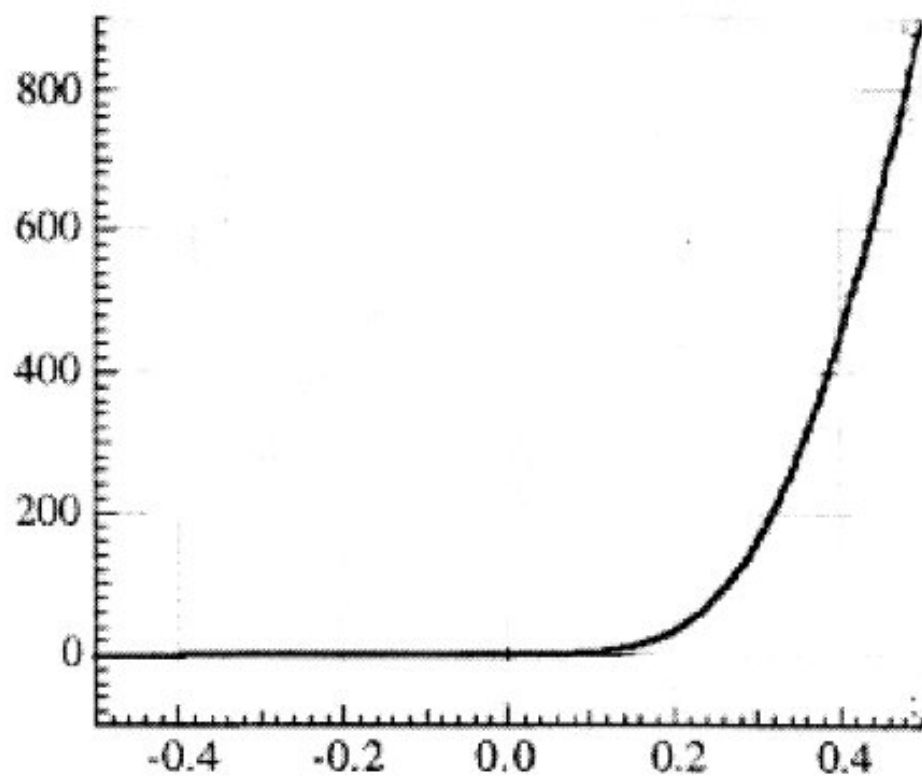
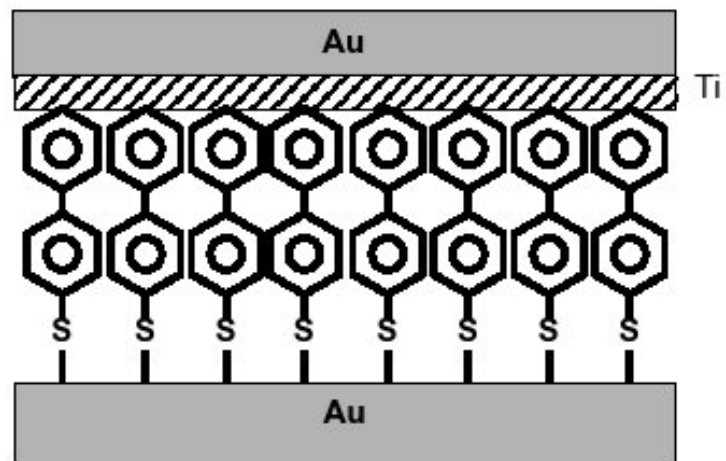


## **Realizacja rezystancji w połączeniach molekularnych**

Jak już wspomniano w poprzednim punkcie, wszelkie przerwy w paśmie przewodnictwa powodują zmniejszenie konduktancji molekuly. Zjawisko to wykorzystuje się w elektronice molekularnej do wytwarzania rezystancji na przewodach molekularnych. Przerwę w łańcuchu polifenylenowych otrzymuje się wstawiając pomiędzy grupy aromatyczne, odcinki innego polimeru niż acetylen, pozbawionego orbitalu  $\pi_z$ . Przykładem takiej wstawki może być łańcuch polietylenowy ( - CH<sub>2</sub> - CH<sub>2</sub> - ) . Ponieważ cząsteczki węgla są połączone tylko pojedynczym wiązaniem  $\sigma$  nie występuje w tym przypadku uwspólniony orbital  $\pi_z$ . Sterując długością łańcucha polietylenowego można w precyzyjny sposób otrzymać pożądaną rezystancję przewodu. Z danych eksperymentalnych [10] wynika, że każda grupa etylenową wprowadzona do łańcucha polifenylenowego zmniejsza natężenie prądu 100-1000 razy.

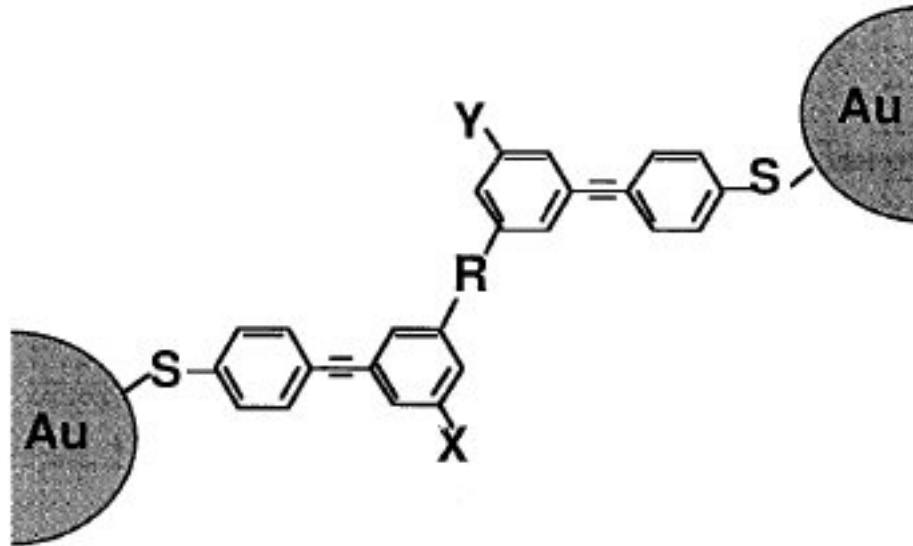
Diody molekularne







# Realizacja polifenylenej diody molekularnej

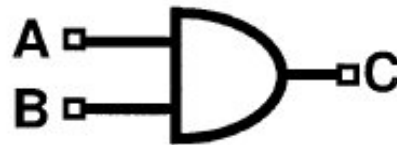
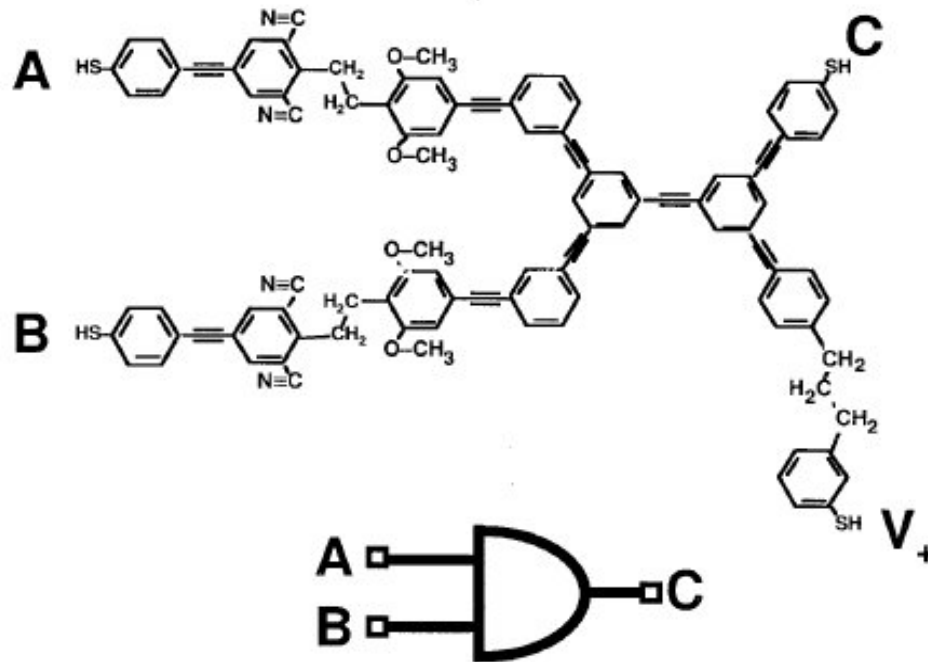
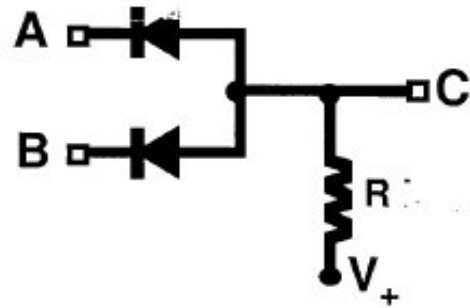


X – kompleks donorowy

Y – kompleks akceptorowy

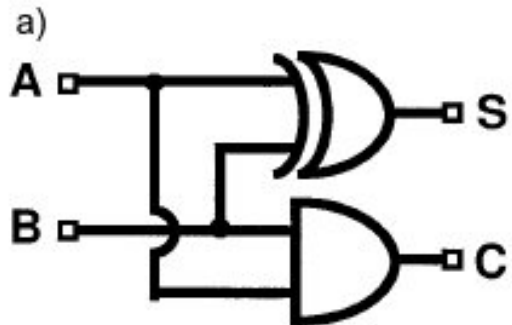
# Bramki klogiczne

# Bramka and



| A | B | C |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

półsumator:



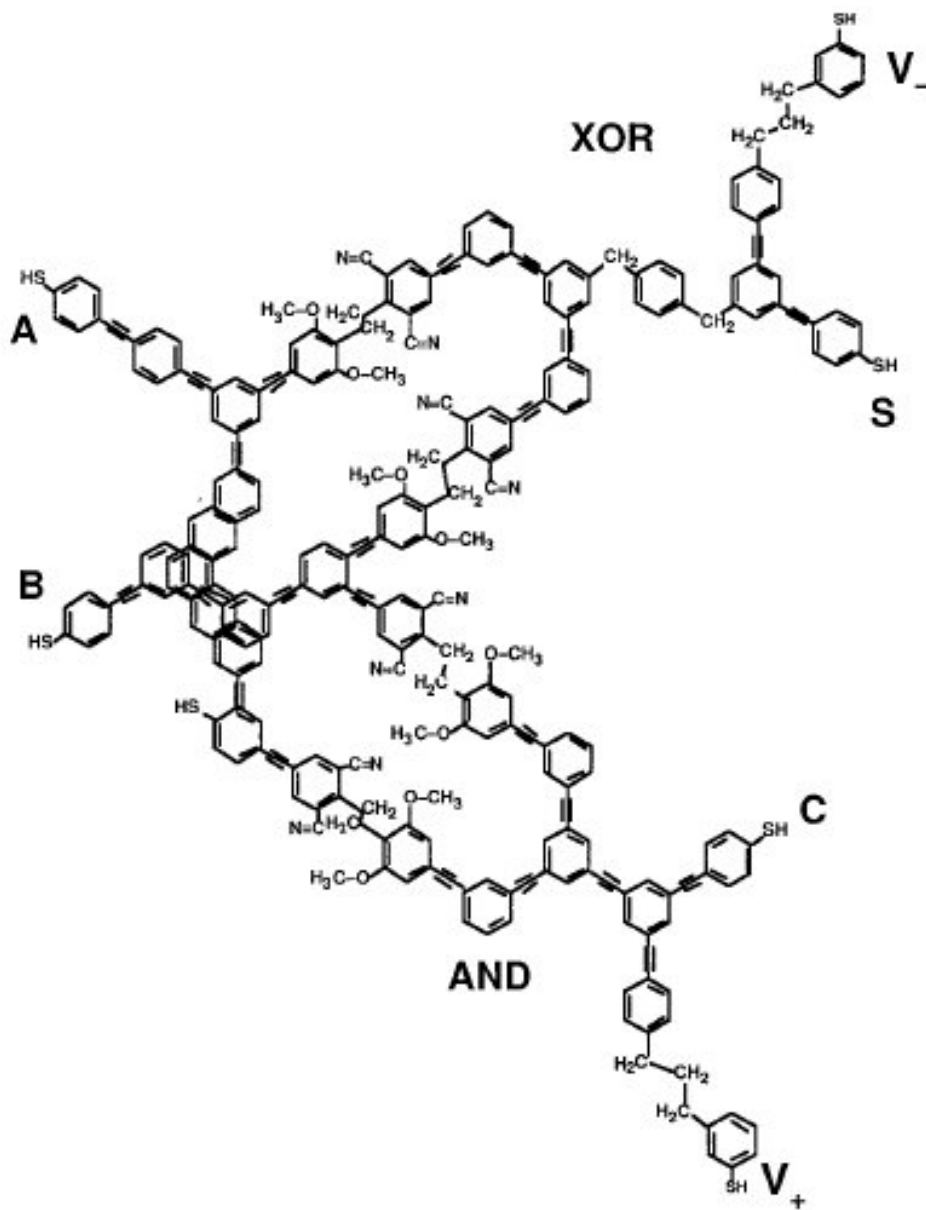
b) Sum (S) = XOR

| A | B | S |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Carry (C) = AND

| A | B | C |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

c)



## Literatura:

- “Możliwość wykorzystania cząsteczki mnemon do realizacji bramek logicznych”, Adam Leśniewski
  - ”Molecular electronics”, Mark A. Ratner
  - “Kwantowe bity-elektronika molekularna”, Michał Setlak
  - “Nanotechnologia-stan obecny i perspektywy”, B Dręczewski