

WYKŁAD 3

Elementy elektryczności. Metody elektryzowania ciał – przekazywanie ładunku. Pole elektryczne - wielkości charakteryzujące pole. Pojemność elektryczna. Magazynowanie energii elektrycznej. Ekrany dotykowe. Pamięć elektrostatyczna. Struktura komórki pamięci RAM. Odczyt i zapis informacji w pamięci RAM.

Początek fizyki elektryczności

- Już starożytni filozofowie greccy wiedzieli, że potarty kawałek bursztynu przyciąga kawałki słomy...
- W XVI angielski fizyk **William Gilbert** stworzył pierwszy wskaźnik naelektryzowania, tzw. *versorium* (z łac. wskazówka) → pierwowzór elektroskopu, który był długą, lekką igłą metalową, umieszczoną na ostrzu. W bliskości naelektryzowanego ciała igła zwracała się ku niemu, wskutek – jak dziś wiemy – **indukcji elektrostatycznej**, wywołującej przesunięcie ładunków w przewodzącym metalu igły.

William Gilbert



William Gilbert
(1544–1603)



Rys. Schemat *versorium* – przyrządu Gilberta, który był pierwszym elektroskopem, czyli wskaźnikiem naelektryzowania ciała.



Ciekawostka: Gilbert nazwał *elektrykami* substancje i ciała, dające się naelektryzować przez tarcie. Należą do nich: bursztyn, diament, szafir, opal, ametyst, beryl, rubin, szkło, siarka, wosk, a także kryształy soli kuchennej...

Ładunek elektryczny

Źródłem pola elektrycznego jest ładunek elektryczny.



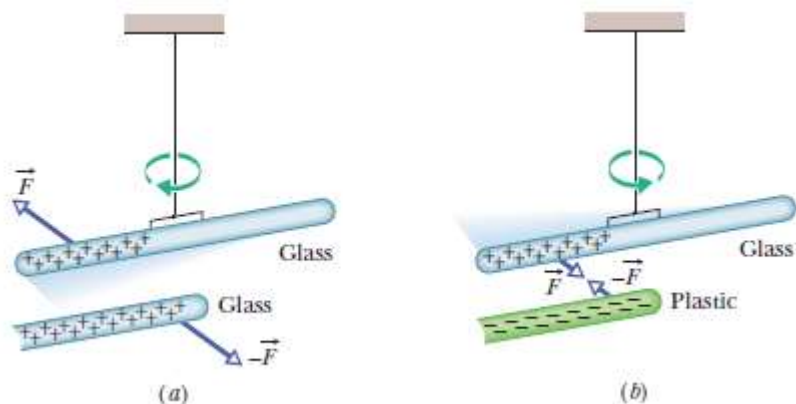
Każde ciało zawiera jednakowe ilości dwóch rodzajów ładunku: *dodatniego* i *ujemnego*.



Gdy ładunek dodatni równoważy ujemny mówimy o zrównoważeniu, a ciało jest *neutralne*, tj. *elektrycznie obojętne*.



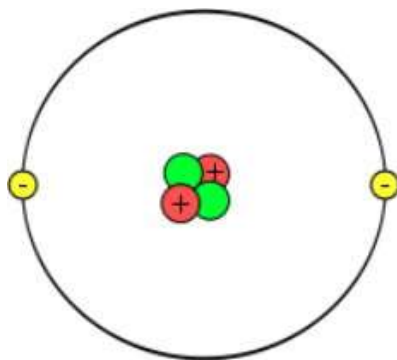
Dwa ciała naładowane ładunkami tego samego znaku odpychają się, z kolei dwa ciała naładowane ładunkami o przeciwnych znakach przyciągają się (por. poniższy rys.)



Rys. Schemat oddziaływań pomiędzy dwoma ciałami: (a) naładowanymi ładunkami tego samego znaku, (b) naładowanymi ładunkami o przeciwnym znaku.

Ładunek elektryczny w atomie

1. Każdy atom składa się z dodatnio naładowanego jądra i ujemnie naładowanych elektronów.
2. Wszystkie elektrony są takie same, tzn. mają taką samą masę i taki sam ładunek (ujemny).
3. Jądro atomu zbudowane jest z protonów i neutronów (**wyjątkiem jest jądro wodoru, które nie ma neutronu**). Wszystkie protony są takie same i neutrony są takie same. Masa protonu jest 2000 razy większa od masy elektronu, jego ładunek jest dodatni, ale jest równy co do wartości ładunkowi elektronu. Neutron ma trochę większą masę niż proton, lecz nie ma ładunku elektrycznego.
4. Atom ma zazwyczaj **tyle samo elektronów i protonów**, dzięki czemu jego wypadkowy ładunek jest równy zero.



Rys. Model atomu helu: jądro składa się z dwóch protonów (czerwone, naładowane dodatnio kuleczki) i dwóch neutronów (zielone kuleczki, bez ładunku elektrycznego). Dodatnio naładowane protony przyciągają dwa ujemnie naładowane elektrony.

Metody elektryzowania ciał – przekazywanie ładunku



1. Elektryzowanie przez **tarcie**.

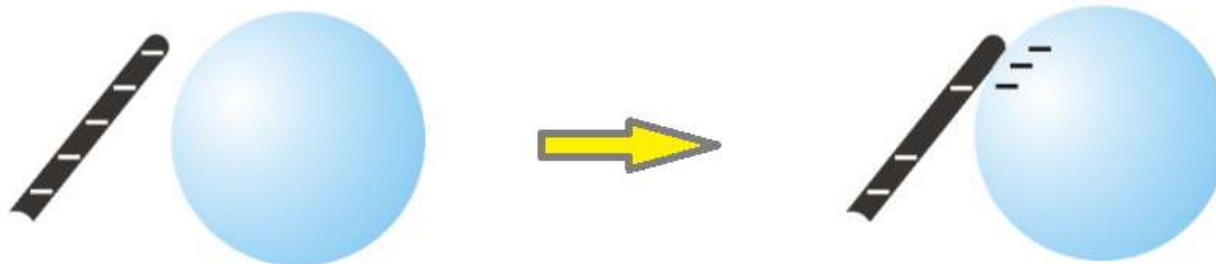
Przykłady:

- głaszcząc kota słyszymy lekkie trzaski tworzących się iskierk;
- czesząc włosy grzebieniem – nie tylko słyszymy trzaski ale często widzimy iskierki;
- Chwytając klamkę u drzwi odczuwamy mrowienie;
- Przesuwając się po plastikowym pokryciu fotela odczuwamy lekki wstrząs....

We wszystkich tych przypadkach w wyniku tarcia **następuje przemieszczenie elektronów z jednego materiału do innego.**

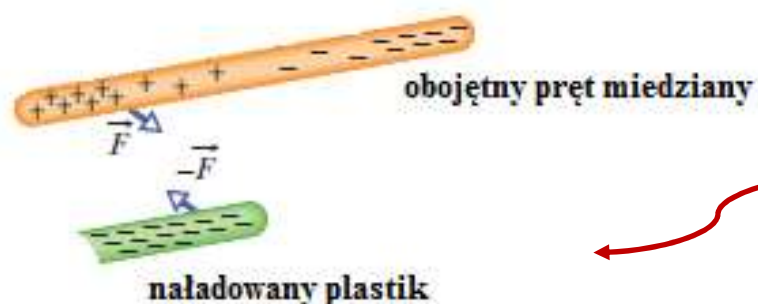
2. Elektryzowanie przez **zetknięcie** z ciałem naelektryzowanym.

Przykłady: naładowaną ujemnie pałeczkę zetkniemy z innym nie naładowanym ciałem, to część elektronów przejdzie z pałeczki na to ciało.



Elektryzowanie ciał – c.d. Siła elektrostatyczna

3. Elektryzowanie przez indukcję elektrostatyczną – zbliżenie ciała naelektryzowanego do powierzchni obojętnego metalu powoduje w nim przepływ elektronów, wywołany przesunięciem ładunków w elektryzowanym ciele (por. poniższy Rys.).



Rys. (1) Obojętny pręt miedziany jest odizolowany elektrycznie od otoczenia i zawieszony na nieprzewodzącej nici. (2) Zbliżamy do niego ujemnie naładowany kawałek plastiku. Naładowany ujemnie pręt plastikowy odpycha swobodne elektrony metalu na drugi jego koniec; w końcu między siłami odpychającymi i przyciągającymi ustala się równowaga. **(3) Następuje rozdzielenie ładunku.** (4) Ujemny ładunek pręta plastikowego przyciąga ładunki dodatnie zgromadzone na końcu miedzianego pręta.

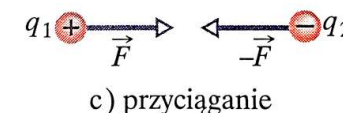
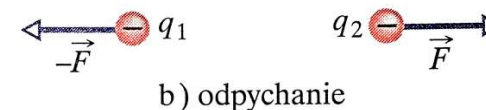
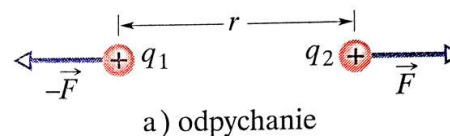
Siła elektrostatyczna – jeśli dwie naładowane cząstki (ładunki punktowe) o ładunkach q_1 i q_2 znajdują się w odległości r , to **siła elektrostatyczna** przyciągania lub odpychania między nimi ma wartość:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

(prawo Coulomba)

gdzie: k – stała.

Wniosek: każda z cząstek oddziałuje na drugą siłą o tej samej wartości. Kierunek siły $\vec{F}$ zależy od tego czy cząstki będą miały ładunek o przeciwnym- lub tym samym znaku.



?

Pole elektryczne

Można zadać sobie pytanie
skąd ładunek q_1 „wie”
o obecności ładunku q_2 ?

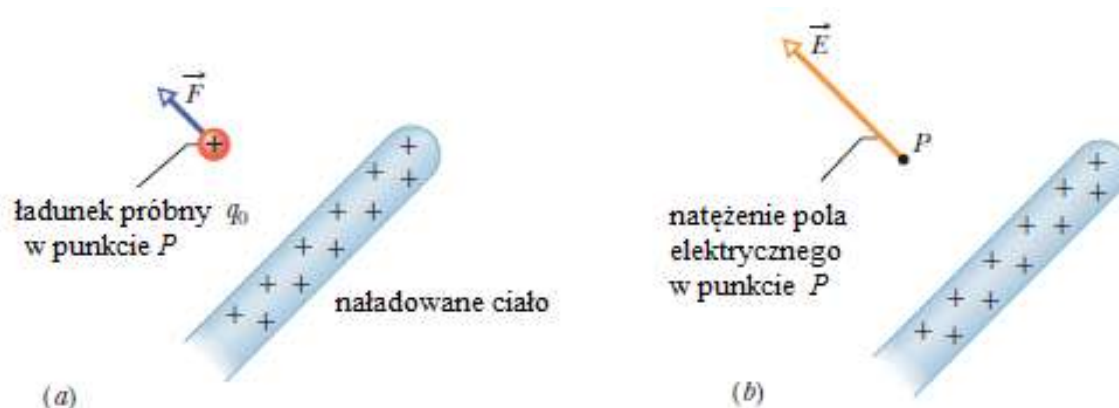


Odpowiedź na to pytanie brzmi następująco:
ładunek q_1 powoduje powstanie **pola
elektrycznego** w otaczającej go przestrzeni

Pole elektryczne w pewnym punkcie w pobliżu naładowanego ciała, np. w punkcie P na Rys. (a), możemy zdefiniować w następujący sposób: najpierw umieszczamy dodatni ładunek q_0 , zwany ładunkiem próbnym w tym punkcie, a następnie mierzymy siłę elektrostatyczną $\vec{F}$, która działa na ładunek próbny. Natężenie pola elektrycznego $\vec{E}$, wytworzonego przez naładowane ciało w punkcie P definiujemy wtedy wzorem:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Wartość natężenia pola elektrycznego $\vec{E}$ w punkcie P wynosi więc $E = F/q_0$, a kierunek wektora $\vec{E}$ jest taki sam jak kierunek siły $\vec{F}$ działającej na dodatni ładunek próbny.

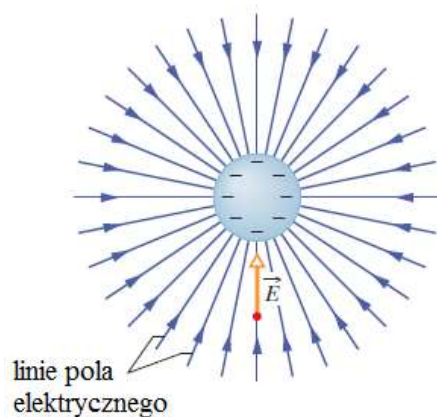


Rys. (a) Dodatni ładunek próbny q_0 umieszczono w punkcie P w pobliżu naładowanego ciała. Na ładunek działa siła $\vec{F}$; (b) Natężenie pola elektrycznego $\vec{E}$, wytworzonego przez naładowane ciało w punkcie P .

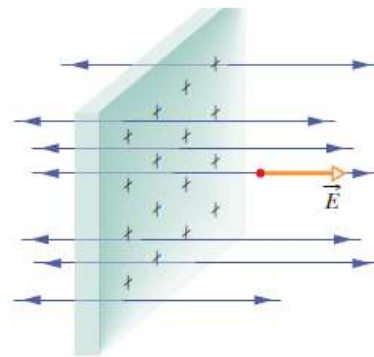
Linie pola elektrycznego

Linie pola elektrycznego można rozumieć jako przestrzeń wokół naładowanego ciała, która wypełniona jest liniami sił. Nie przypisujemy tym liniom realnego istnienia, aczkolwiek ułatwiają one graficzne przedstawienie **rozkładu natężenia pola elektrycznego**.

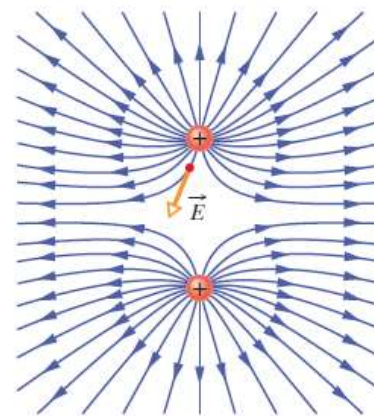
➤ Przykłady:



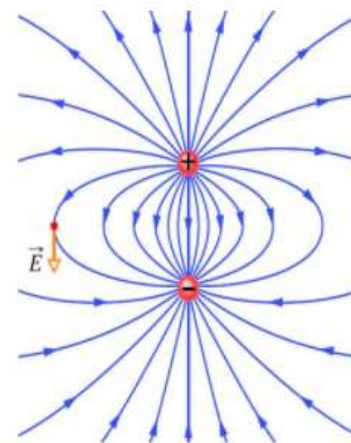
(a)



(b)



(c)



(d)

Rys. Rozkład linii pola elektrycznego: (a) wokół ujemnie naładowanej kuli; (b), wokół dodatnio naładowanej płaszczyzny; (c) dla dwóch jednoimiennych dodatnich ładunków; (d) dla dwóch różnoimiennych ładunków.

Wielkości fizyczne charakteryzujące pole elektryczne

1) Natężenie pola elektrycznego:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

2) Siła elektrostatyczna:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

3) Przenikalność elektryczna próżni:

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$$

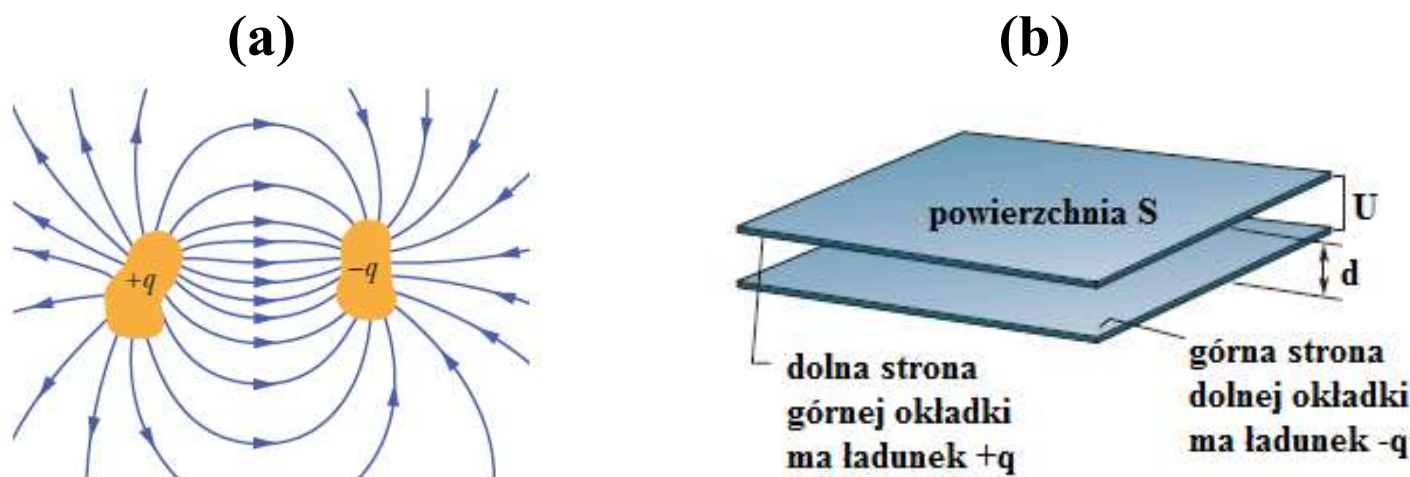
4) Względna przenikalność elektryczna:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

ε – przenikalność elektryczna
danego ośrodka

Pojemność elektryczna

Poniższy Rys. przedstawia podstawowe elementy kondensatora – dwa odosobnione przewodniki dowolnego kształtu. Przewodniki te bez względu na ich kształt, płaskość lub zakrzywienie, nazywamy *okładkami kondensatora*.



Rys. Model kondensatora: (a) zbudowanego z dwóch odizolowanych od siebie i od otoczenia przewodników. Jeśli kondensator jest naładowany, to przewodniki, zwane okładkami mają ładunki o takich samych wartościach q , ale przeciwnych znakach. (b) płaskiego, składającego się z dwóch okładek o polu powierzchni S , znajdujących się w odległości d . Okładki mają na swych wewnętrznych powierzchniach ładunki o takich samych wartościach q , ale o przeciwnych znakach.

Pojemność elektryczna kondensatora:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

lub

$$C = \frac{q}{U}$$

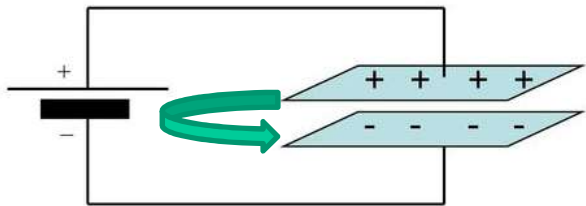
U – napięcie (różnica potencjałów) między dwiema okładkami,
 q – bezwzględna wartość ładunków na okładkach



Magazynowanie energii elektrycznej

Energię możemy magazynować w postaci energii potencjalnej w polu elektrycznym, jakie istnieje między okładkami kondensatora. Dlatego do magazynowania energii elektrycznej wykorzystywany jest kondensator.

- Jeśli okładki kondensatora podłączymy do źródła napięcia (por. poniższy Rys.), to część elektronów przejdzie z jednej płytki na drugą.
- Dodatni biegun baterii przyciąga elektrony znajdujące się w okładce podłączonej do niego. Elektrony te są następnie „przepompowywane” przez baterię i biegun ujemny do drugiej okładki kondensatora.
- Obie okładki mają ładunki przeciwnego znaku, ale równe co do wartości. Płytką z dodatnim ładunkiem podłączona jest do bieguna dodatniego baterii, natomiast płytką z ładunkiem ujemnym – do bieguna ujemnego.
- **Proces ładowania kondensatora kończy się z chwilą, gdy różnica potencjałów między okładkami będzie równa wartości napięcia zasilania.**
- **Im większe napięcie zasilania i im większa powierzchnia płytek oraz im mniejsza odległość między nimi tym większy ładunek można na nich zgromadzić.**



$$C = \frac{q}{U} = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$



$$q = \frac{U \epsilon_0 S}{d}$$

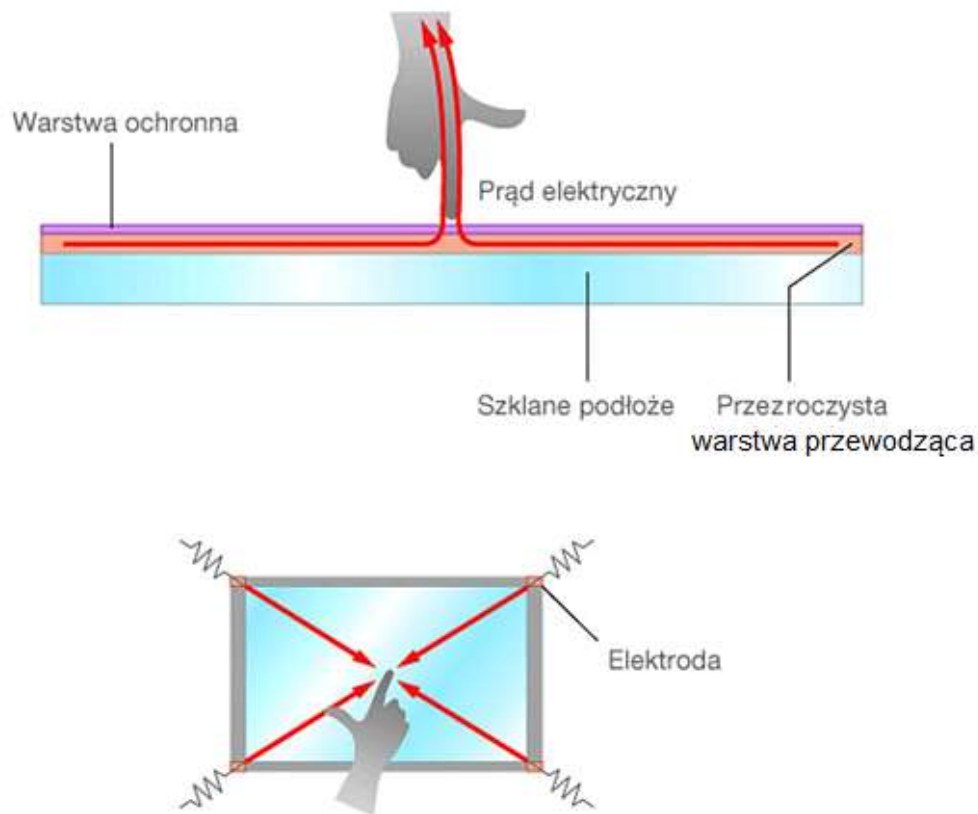
Kondensator o pojemności C naładowany napięciem U posiada zmagazynowaną energię potencjalną E_p , równą:

$$E_p = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

Pojemnościowe ekrany dotykowe

Ekran dotykowy pojemnościowy działa na zasadzie detekcji zmian pojemności elektrycznej. Pojemnościowe panele dotykowe dzielą się na dwa rozwiązania: *panele powierzchniowo – pojemnościowe* (duże ekrany) oraz *projekcyjno - pojemnościowe* (małe ekrany). Różnią się one między sobą wewnętrzną budową.

Ekran dotykowy powierzchniowo-pojemnościowy – zasada działania



W tego typu panelach przezroczysta warstwa przewodząca jest umieszczona ponad szklanym podłożem i dodatkowo przykryta jest warstwą ochronną.

Do elektrod umieszczonych w czterech rogach szklanego podłoża jest przykładane napięcie, generujące na całym panelu jednolite niskonapięciowe pole elektryczne.

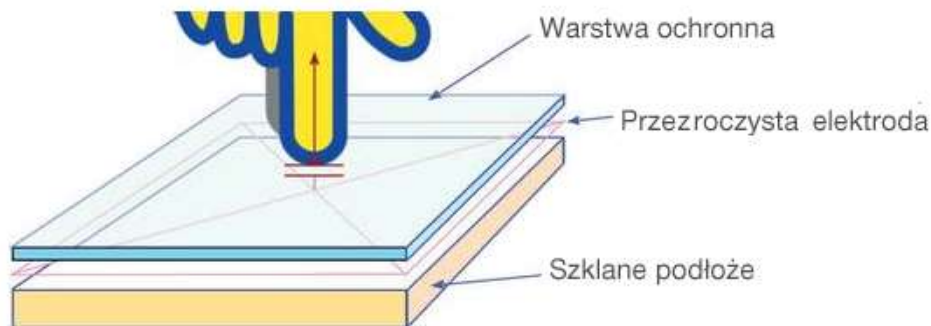
Dotknięcie ekranu palcem powoduje zamknięcie obwodu elektrycznego pomiędzy ciałem a powierzchnią panelu, na której zgromadzony jest ładunek. W momencie dotyku z każdej z elektrod do miejsca styku płynie minimalny prąd wynikający z powstania zaburzenia pola elektrycznego w warstwie przewodzącej.

Pojemnościowe ekrany dotykowe

Ekran dotykowy powierzchniowo-pojemnościowy – zasada działania (c.d.)

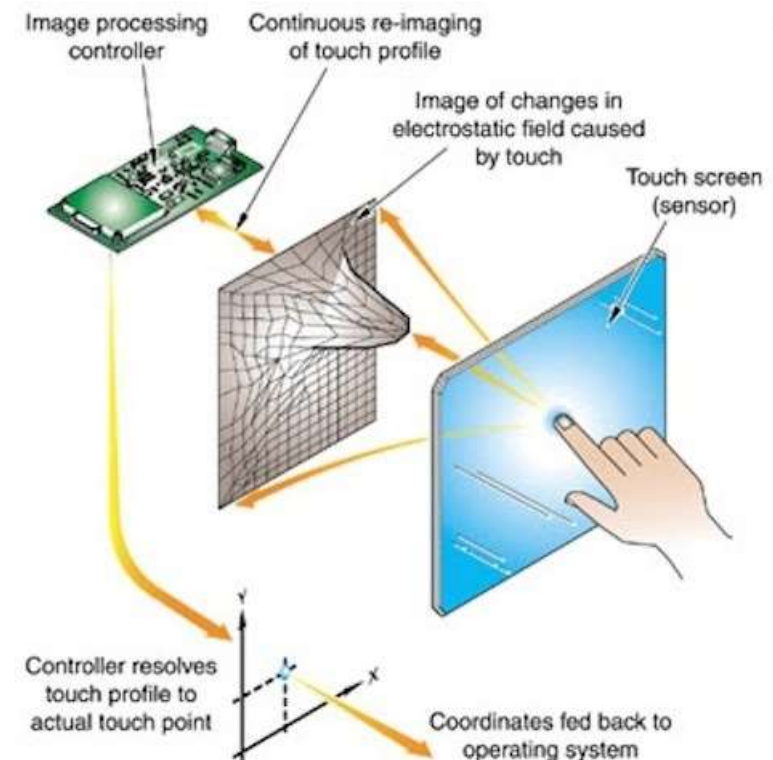
Współrzędne miejsca dotknięcia ekranu palcem są obliczane na podstawie pomiaru zmian pojemności elektrostatycznej każdej z elektrod (czujników) umieszczonych w czterech narożnikach ekranu do kontrolera ekranu.

Wartość zmian pojemności elektrostatycznej każdej z elektrod zależy od ich odległości od punktu dotyku i na tej podstawie kontroler ekranu może wyliczyć współrzędne dotyku i przesłać je do komputera.



$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

d - odległość od punktu dotyku

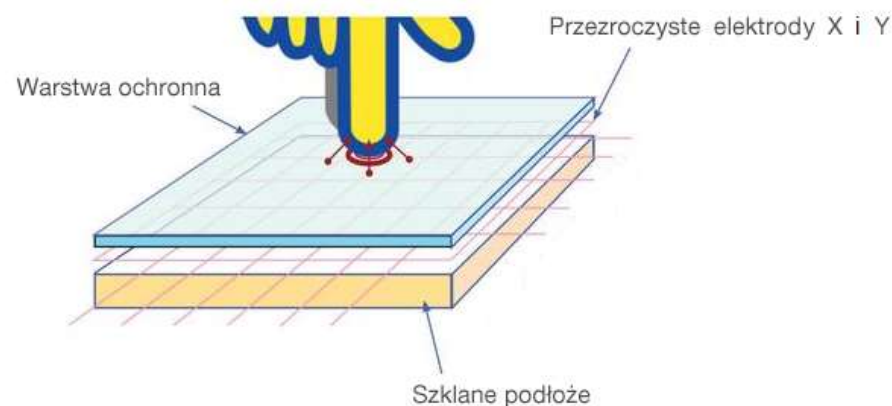
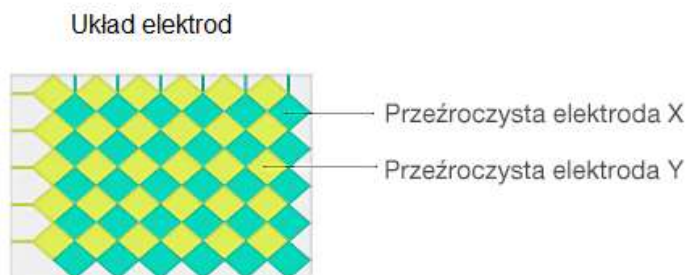
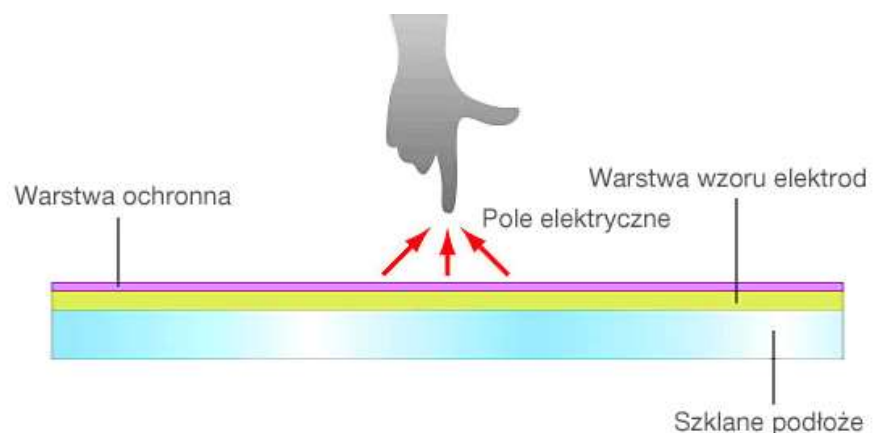


Pojemnościowe ekrany dotykowe

Ekran dotykowy projekcyjno-pojemnościowy – zasada działania

Na wewnętrzną strukturę takich ekranów składa się szklane podłoże, ponad którym znajduje się **warstwa z wieloma przezroczystymi elektrodami ułożonymi wg specjalnego wzoru**. Z wierzchu znajduje się szklana lub plastikowa powierzchnia ochronna.

Kiedy palec zbliża się do powierzchni ekranu, wartości pojemności elektrostatycznej na pobliskich elektrodach zmieniają się, a z ich pomiaru można precyzyjnie obliczyć miejsce dotyku.





Pamięć elektrostatyczna

Mikroskopijne „kondensatory” tworzą pamięci komputerów. Te bardzo małe elementy są ważne ze względu na informację binarną, jakiej dostarcza obecność lub brak pola elektrycznego.

Ze względu na możliwości zapisu i odczytu, pamięci elektrostatyczne dzieli się na:

- **RAM** (*ang. Random Access Memory*) – pamięci zapis-odczyt, które są pamięciami o dostępie bezpośrednim, są podstawowym rodzajem pamięci komputerowych, w których przechowywane są dane aktualnie pracujących aplikacji oraz wyników ich pracy;
- **ROM** (*ang. Read Only Memory*) – pamięci stałe, które umożliwiają tylko odczyt informacji wcześniej w nich zapisanych.

Pamięć RAM buduje się na bazie układów (tranzystorów) bipolarnych techniką TTL lub na bazie układów (tranzystorów) unipolarnych/polowych techniką CMOS.

Pamięci unipolarne, wykonane techniką CMOS, dzielimy na:

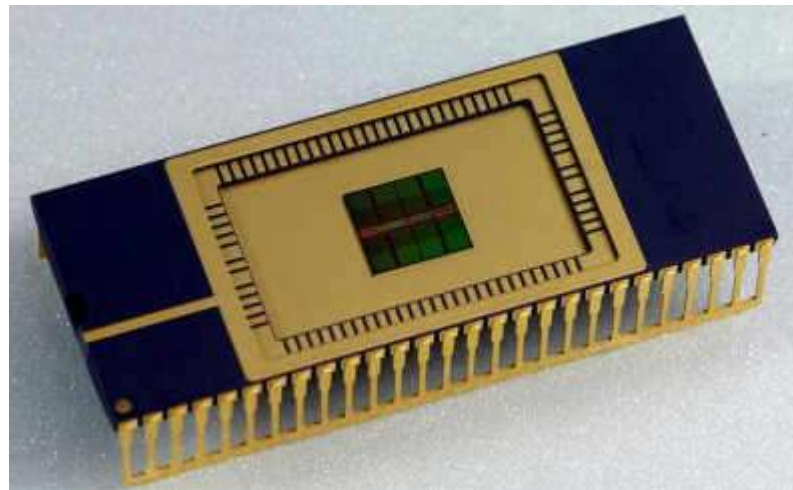
- **statyczne SRAM** (*ang. Static RAM*), w których elementem pamiętającym jest przerzutnik bistabilny zbudowany z 6 tranzystorów CMOS do przechowania pojedynczego bitu informacji; informacja w przerzutniku bistabilnym może być przechowywana dowolnie długo;
- **dynamiczne DRAM** (*ang. Dynamic RAM*), w których pamiętanie jest związane z ładunkiem elektrostatycznym zawartym w pojemności wewnętrznej tranzystora CMOS; ze względu na upływności ładunek elektrostatyczny nie utrzymuje się długo, dlatego DRAM to rodzaj pamięci ulotnej.

Pamięć DRAM - szczegóły

Układ komórki elementarnej pamięci DRAM jest zaprojektowany w ten sposób, że zbudowany jest na bazie **dwóch tranzystorów MOS**, z których **jeden pełni funkcję kondensatora, a drugi elementu separującego (sterującego procesem ładowania kondensatora)**, oprócz tego linii słowa (WL) oraz linii bitowej (BL). Cała pamięć składa się z kilkudziesięciu miliardów takich tranzystorów.

Pamięć DRAM przechowuje każdy bit danych w oddzielnym kondensatorze wewnątrz układu scalonego. Ze względu na rozładowywanie się kondensatorów pamięci te wymagają okresowego odświeżania zawartości.

Odświeżanie polega na ponownym zapisie odczytanej wartości w tych samych komórkach pamięci. Za odświeżanie odpowiedzialne są układy pamięci, wyspecjalizowane układy wspomagające (np. kontrolery pamięci) bądź sam procesor.



Struktura komórki pamięci DRAM

Kiedy bit jest czytany lub zapisywany na linię słowa podawany jest sygnał napięciowy i przez tranzystor separujący zaczyna płynąć prąd. Linia słowa WL (*ang. Word Line*) steruje tranzystorem separującym, który przłącza do linii bitowej BL (*ang. Bit line*) lub separuje od niej kondensator (tranzystor polowy CMOS) do przechowywania danych.

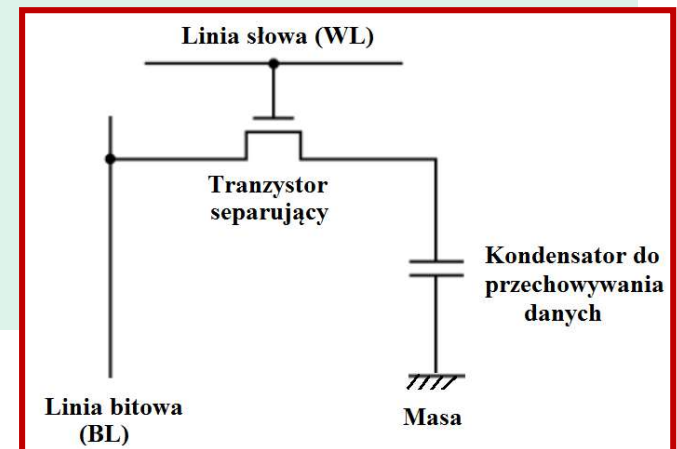
- Operacja zapisu:

- podajemy na linię bitową (BL) napięcie zasilające przy stanie logicznym 1 lub na napięcie masy przy stanie logicznym 0;
- następnie zostaje wysterowana linia WL, co spowoduje odblokowanie tranzystora separującego i połączenie kondensatora z linią bitową.
- w zależności od napięcia na linii BL kondensator zostanie albo naładowany (przechowuje 1 bit – stan 1), albo rozładowany (przechowuje binarne 0 - stan 0).

- Operacja odczytu

- linia bitu BL jest ładowana napięciem równym około połowie napięcia zasilającego;
- następnie zostaje wysterowana linia WL, która odblokowuje tranzystor separujący;
- odblokowany tranzystor przłącza kondensator do linii bitu;
- następuje wyrównanie ładunków kondensatora do przechowywania bitu oraz linii bitu BL;
- jeśli kondensator przechowywał bit 1, to napięcie na BL nieco wzrośnie, ponieważ ładunek kondensatora uzupełni ładunek linii BL;
- jeśli kondensator był rozładowany, czyli przechowywał 0, to napięcie na BL spadnie, ponieważ kondensator odbierze nieco ładunku.

Zatem wzrost napięcia BL przy odczycie komórki informuje o stanie 1, spadek o stanie 0.



Budowa matrycowa pamięci DRAM

Pamięci dynamiczne najczęściej łączone są w dwuwymiarowe tablice (matryce) **adresowane numerem wiersza i kolumny**, co pozwala ograniczyć liczbę wymaganych linii adresowych i przyspiesza sekwencyjny odczyt danych umieszczonych w kolejnych komórkach tego samego wiersza pamięci.

