



Politechnika
Wrocławska

Miniaturowy czujnik do monitorowania poziomu glukozy we krwi (glucose microsensor, biosensor)



Wykonali:

Michał Weichbrodt

Matuesz Kowalczyk



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika
Wrocławska

MEMS a medycyna

Technologia MEMS bardzo szybko zaczęła być wykorzystywana w medycynie.

Było to spowodowane postępującą miniaturyzacją w branży.

Przykładem zastosowania technologii MEMS w medycynie, jest właśnie **czujnik, który służy do monitorowania poziomu glukozy we krwi.**



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika
Wrocławska

Co chcemy uzyskać?

- Glukoza to związek chemiczny, *monosacharyd* (inaczej cukier prosty).
- Podgląd własnego poziomu glukozy we krwi jest niezbędny dla każdej osoby chorującej na cukrzycę.
- **Stąd duże zapotrzebowanie na miniaturowy czujnik, który będąc nadal kompaktowych rozmiarów oraz łatwy i szybki w obsłudze, umożliwiałby podgląd poziomu glukozy we krwi.**



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika
Wrocławska

Rodzaje rozwiązań

Obecnie najczęściej stosowaną metodą jest nakłuwanie palca, które jest proste, ale bolesne i podatne na infekcje. Aby przezwyciężyć te problemy, proponujemy inne, nieinwazyjne metody tj.:

- Nieenzymatyczny czujnik do pomiaru glukozy z nanporowatymi platynowymi elektrodami
- Nieenzymatyczny czujnik dielektryczny wykorzystujący koplanarne elektrody funkcjonalizowane hydrożelem





Czujniki enzymatyczne i nieenzymatyczne

- Czujnik nieenzymatyczny oznacza, że jego działanie nie zależy od obecności i aktywności enzymów.
- Enzymy to białka, które działają jako katalizatory, przyspieszając reakcje chemiczne.
- W przypadku czujników enzymatycznych, ich skuteczność opiera się na zdolności enzymów do rozpoznawania i reagowania z określonymi substancjami chemicznymi.



Czujniki enzymatyczne i nieenzymatyczne

Czujniki enzymatyczne, chociaż są bardzo skuteczne w wielu zastosowaniach, mają również swoje wady w porównaniu do czujników nieenzymatycznych. Oto kilka potencjalnych wad czujników enzymatycznych:

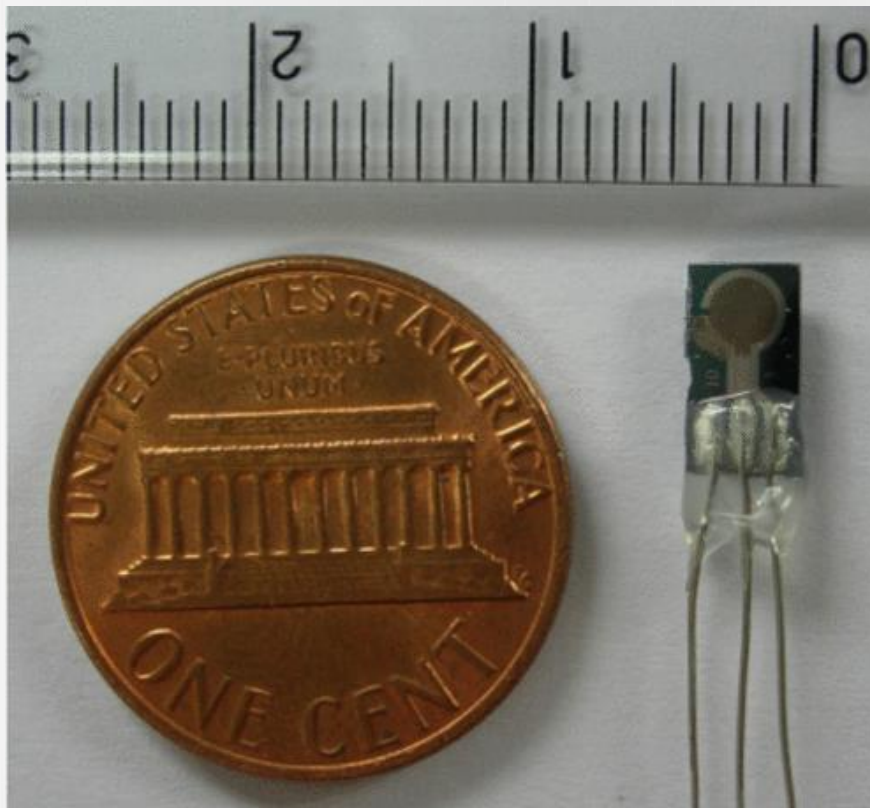
- **Czułość na Warunki Środowiskowe** - tj. temperatura, pH czy obecność substancji chemicznych
- **Trwałość** - mogą ulegać degradacji w wyniku ekspozycji na warunki zewnętrzne lub w wyniku długotrwałego użytkowania.
- **Koszty** - produkcja i stabilizacja enzymów może być kosztowna



Zalety czujników nieenzymatycznych

- Są one trwalsze
- Ich koszt produkcji jest mniejszy
- Lepiej przystosowane do produkcji masowej
- Brak ograniczeń tlenowych
- Ich rozmiar jak i możliwości są odpowiednie by wykorzystać je jako przenośny czujnik do pomiaru glukozy.

Nieenzymatyczny czujnik do pomiaru glukozy z nanporowatymi platynowymi elektrodami



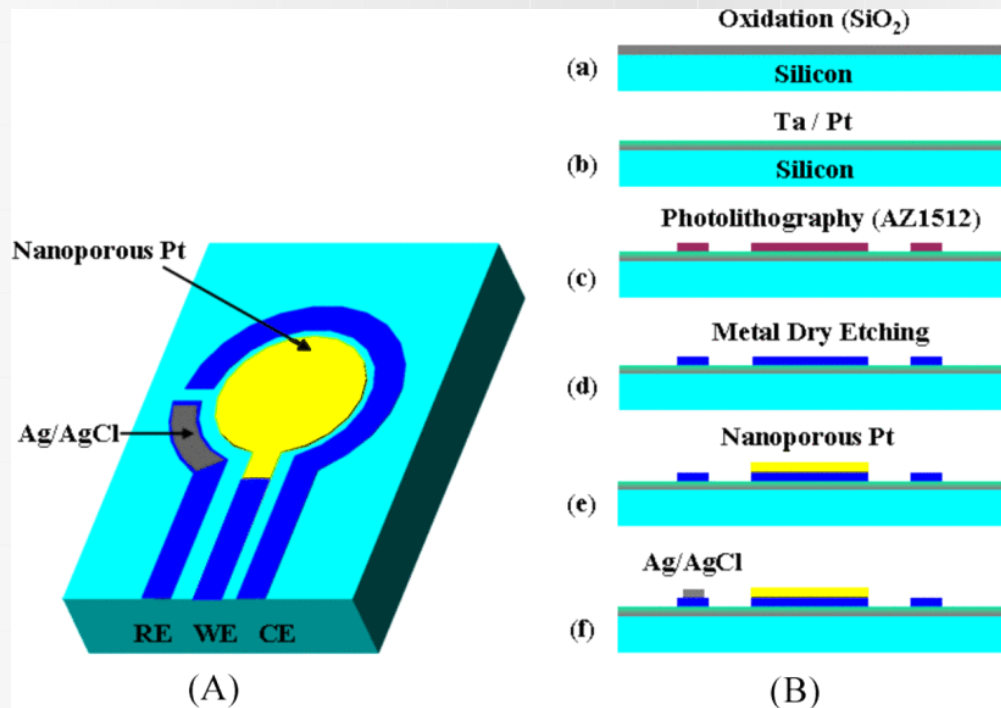
Fotografia przedstawiająca rozmiar czujnika i jego porównanie z monetą

Źródło: <https://ieeexplore-1ieee-1org-1600oqg2f00fd.han.bg.pwr.edu.pl/document/4666731>



Politechnika
Wrocławska

Schemat budowy czujnika nieenzymatycznego z nanoporowymi platynowymi elektrodami

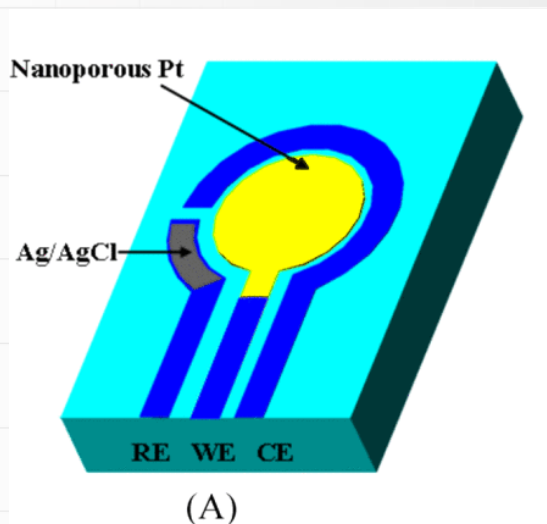


A) Schemat czujnika B) schemat przedstawiający zaproponowane etapy produkcji czujnika na podłożu krzemowym

Źródło: <https://ieeexplore-1ieee-1org-1600oqg2f00fd.han.bg.pwr.edu.pl/document/4666731>



Schemat budowy cd.



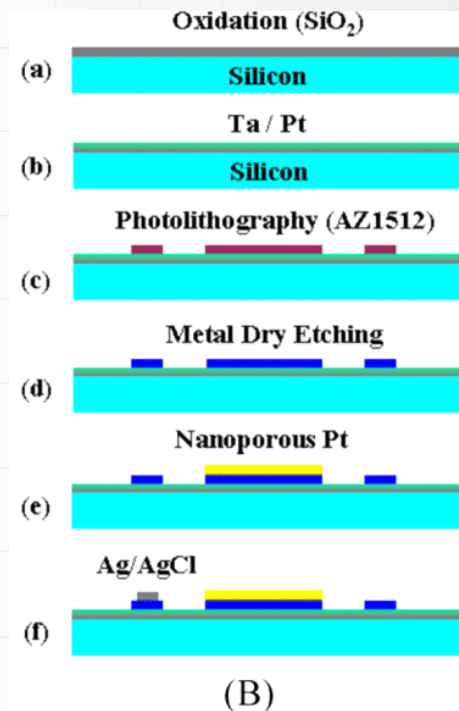
A) Schemat czujnika

Źródło: <https://ieeexplore-1iee-1org-1600oqg2f00fd.han.bg.pwr.edu.pl/document/4666731>

Nieenzymatyczny mikroczytnik glukozy został zaprojektowany z trzema różnymi elektrodami, którymi są:

- elektroda robocza (WE; nanoporowata Pt),
- elektroda przeciwna (CE; płaska Pt)
- elektroda odniesienia (RE; Ag/AgCl)

Schemat budowy cd.



B) schemat przedstawiający zaproponowane etapy produkcji czujnika na podłożu krzemowym
 Źródło: <https://ieeexplore-1ieeee-1org-1600oqg2f00fd.han.bg.pwr.edu.pl/document/4666731>

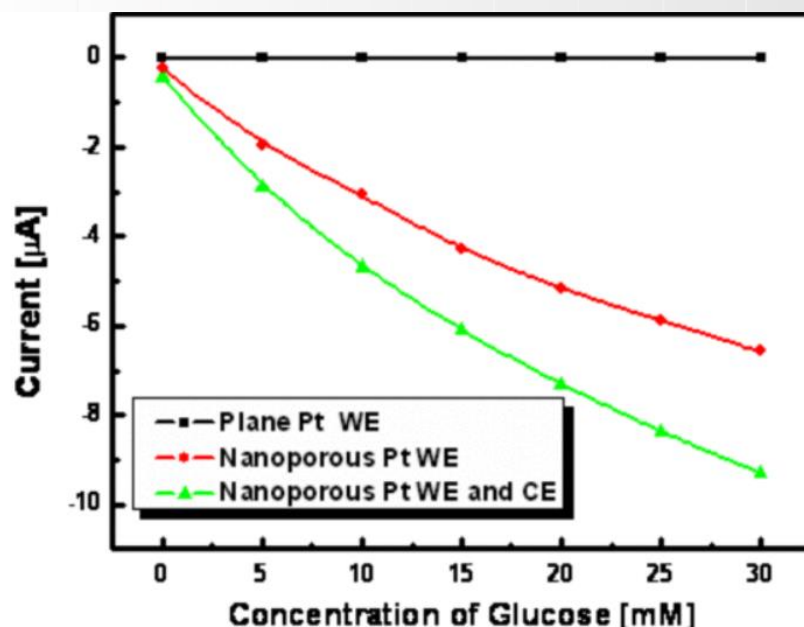
Etapy wytwarzania proponowanych nieenzymatycznych mikroczujników glukozy na podłożu krzemowym:

- Warstwa izolacyjna została najpierw osadzona na podłożu krzemowym.
- Po napyleniu warstw Ta i Pt na warstwę SiO_2 , za pomocą techniki wytrawiania na sucho utworzono trzy różne elektrody.
- Nanoporowaty Pt został utworzony na wierzchu WE lub WE/CE Pt za pomocą techniki galwanicznej.
- Wreszcie, Ag/AgCl z 3 M NaCl został nadrukowany sitodrukiem na referencyjnej elektrodzie Pt.



Politechnika
Wrocławska

Zasada działania czujnika



Reakcje prądowe
wytworzonych
nieenzymatycznych
mikroczujników glukozy
na różne stężenia
glukozy w 0,1 M
roztworze PBS.

Źródło: <https://ieeexplore-1ieee-1org-1600oqg2f00fd.han.bg.pwr.edu.pl/document/4666731>



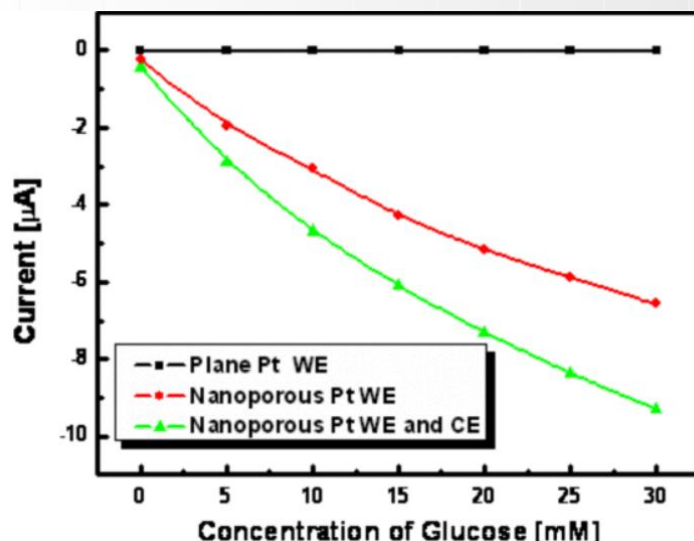


Politechnika
Wrocławska

Zasada działania czujnika

Mikroczujniki z płaskim Pt,
nanoporowatym Pt WE i
nanoporowatym Pt WE/CE
mają różne czułości,
odpowiednio

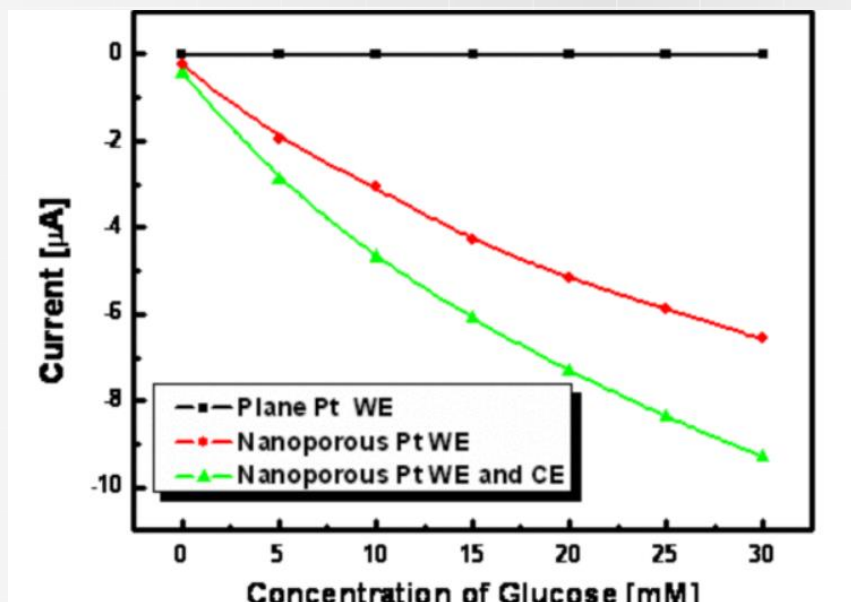
$0,009 \mu A \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-2}$,
 $5,46 \mu A \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-2}$,
i $7,75 \mu A \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-2}$,



Prądy reakcji wytworzonych
mikroczujników z
nanoporowatym Pt WE i Pt
WE/CE zwiększały się wraz ze
wzrostem stężenia glukozy.



Zasada działania czujnika



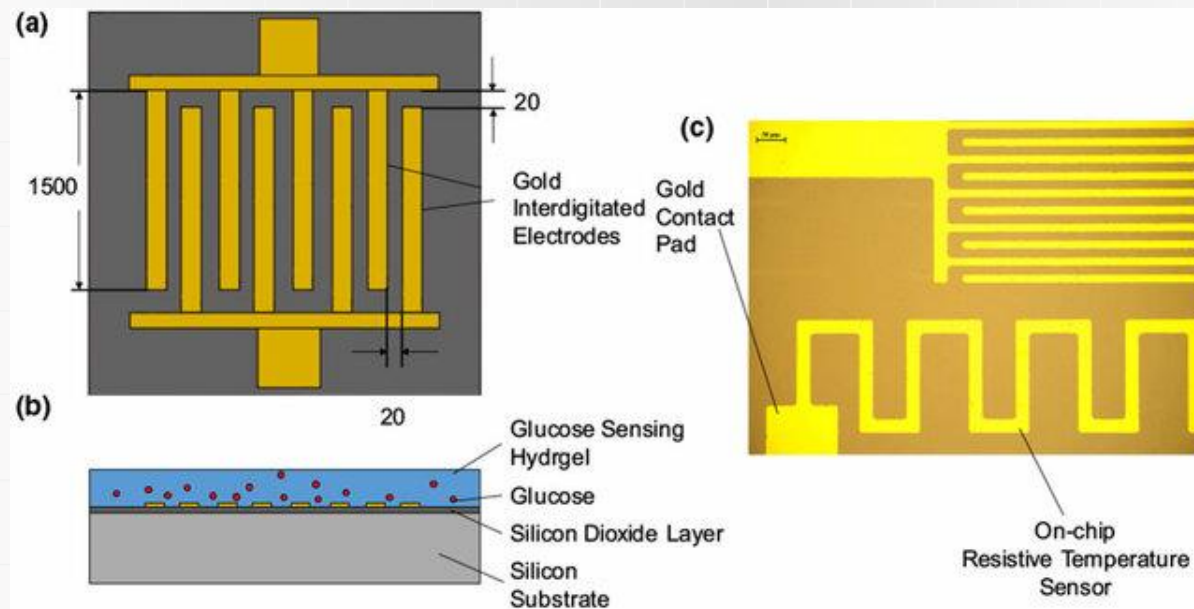
Wyniki te oznaczają, że transfer elektronów między WE i CE czujnika z nanoporowatym Pt WE/CE jest proporcjonalnie zwiększony ze względu na wzrost ich powierzchni aktywacji 😊



Politechnika
Wrocławska

Czujnik dielektryczny wykorzystujący koplarnane elektrody funkcjonalizowane hydrożelem

(A dielectric affinity glucose microsensor using hydrogel-functionalized coplanar electrodes)



Schemat czujnika: a) widok z góry, b) widok z boku c) widok wytworzonego czujnika, skala μm

Źródło: https://www.researchgate.net/publication/316713508_A_dielectric_affinity_glucose_microsensor_using_hydrogel-functionalized_coplanar_electrodes



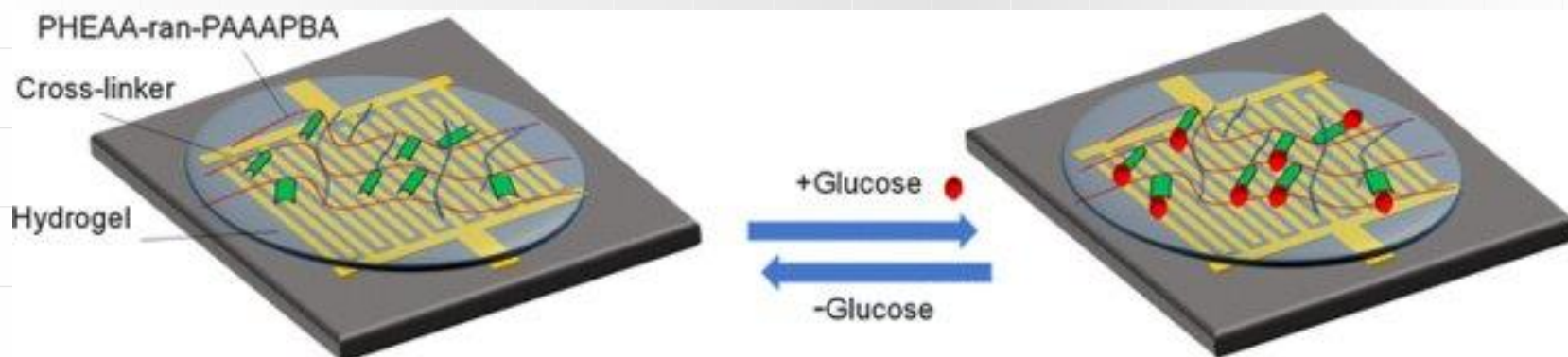
Zasada działania czujnika

(A dielectric affinity glucose microsensor using hydrogel-functionalized coplanar electrodes)

- Czujnik ten składa się z hydrożelu, który ‘przymocowany’ jest do elektrod leżących na tej samej płaszczyźnie, co pozwala mu na dielektryczny pomiar glukozy w tkance podskórnej.
- Kiedy hydrożel zostanie wszczepiony do tkanki podskórnej, molekuły glukozy zaczynają ulegać dyfuzji i wiążą się z cząsteczkami kwasu fenyloboronowego.
- Powoduje to zmianę w przenikalności elektrycznej hydrożelu co sprawia, iż zmienia się impedancja pomiędzy elektrodami, która może zostać zmierzona w celu ustalenia poziomu glukozy we krwi

Zasada działania czujnika

(A dielectric affinity glucose microsensor using hydrogel-functionalized coplanar electrodes)

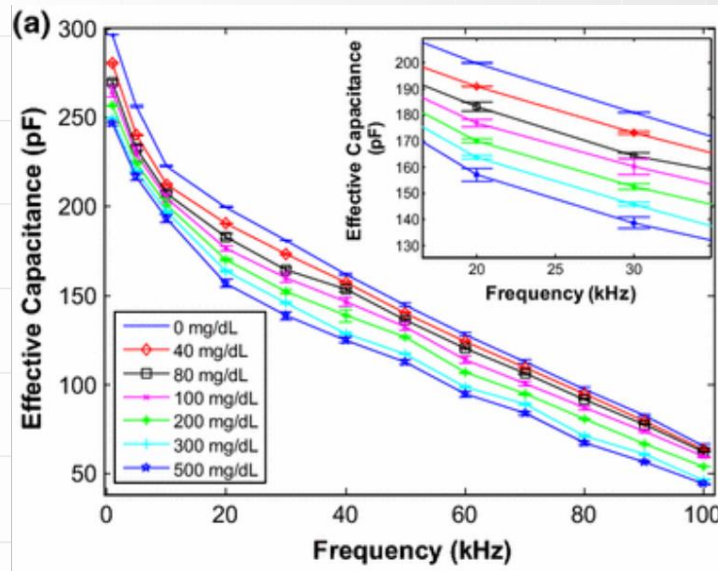


Zasada działania czujnika bazującego na hydrożelu

Źródło: https://www.researchgate.net/publication/316713508_A_dielectric_affinity_glucose_microsensor_using_hydrogel-functionalized_coplanar_electrodes

Zasada działania czujnika

(A dielectric affinity glucose microsensor using hydrogel-functionalized coplanar electrodes)



Efektywna pojemność i rezystancja mikrosensora uśredniona z wielu pomiarów.

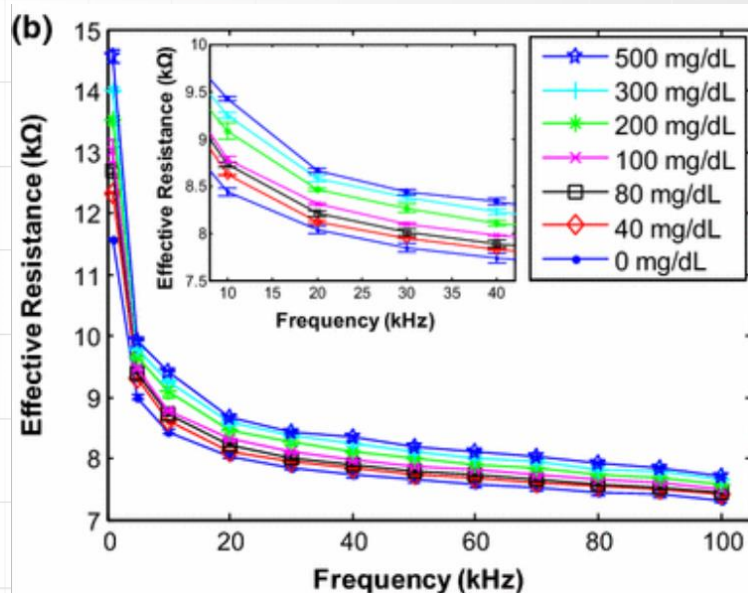
(a) Zależność pojemności efektywnej od częstotliwości pomiaru.

Źródło:

https://www.researchgate.net/publication/316713508_A_dielectric_affinity_glucose_microsensor_using_hydrogel-functionalized_coplanar_electrodes

Zasada działania czujnika

(A dielectric affinity glucose microsensor using hydrogel-functionalized coplanar electrodes)



Źródło:

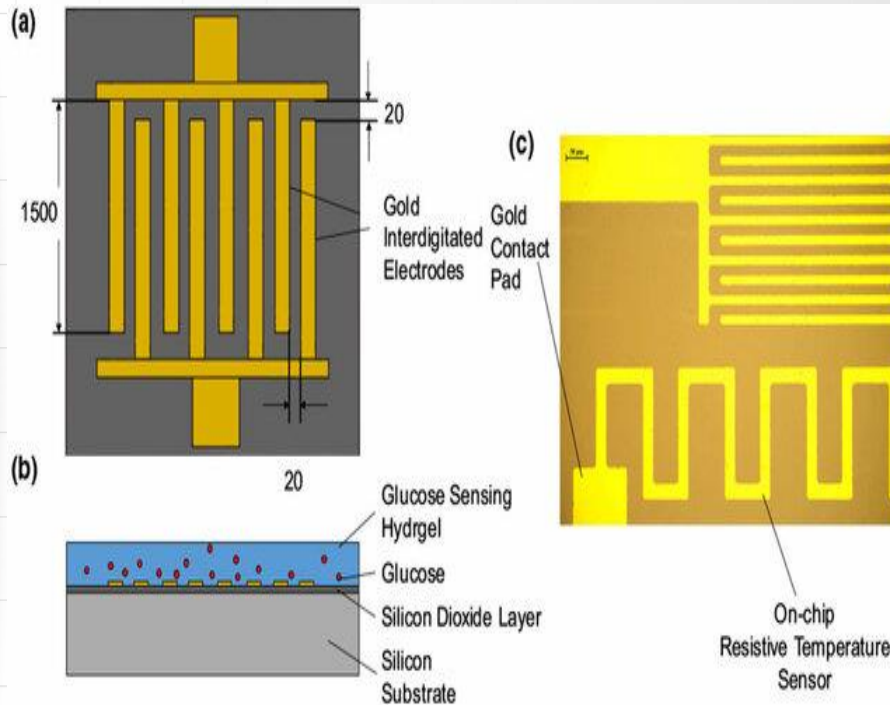
https://www.researchgate.net/publication/316713508_A_dielectric_affinity_glucose_microsensor_using_hydrogel-functionalized_coplanar_electrodes

Efektywna pojemność i rezystancja mikrosensora uśredniona z wielu pomiarów.

(b) Zależność rezystancji efektywnej od częstotliwości pomiarów, gdzie słupki błędów odzwierciedlają błędy standardowe

Budowa czujnika

(A dielectric affinity glucose microsensor using hydrogel-functionalized coplanar electrodes)

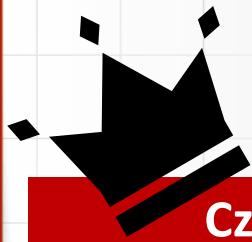


- Czujnik ten wykorzystuje współpłaszczyznowy pojemnościowy konwerter przy pomocy technologii IDE.
- IDE umieszczone jest na podłożu wykonanym z dwutlenku krzemu, które składa się z 40 par złotych elektrod.
- Grubość elektrod: 50 nm, długość: 1.5 mm, szerokość: 20 μm.

Schemat czujnika: a) widok z góry, b) widok z boku c) widok wytworzonego czujnika, skala μm

Źródło:

https://www.researchgate.net/publication/316713508_A_dielectric_affinity_glucose_microsensor_using_hydrogel-functionalized_coplanar_electrodes



Porównanie

**Czujnik dielektryczny z
koplarnanymi elektrodami
funkcjonalizowanymi hydrożelem:**

- Wysoka precyzja oraz czułość
- Mniejsze ryzyko reakcji alergicznych, ponieważ nie wymaga stosowania enzymów

**Czujnik nieenzymatyczny z
nanoporowymi platynowymi
elektrodami:**

- Wysoka precyzja oraz czułość
- Mniejsze ryzyko reakcji alergicznych, ponieważ nie wymaga stosowania enzymów
- Może być kosztowny w produkcji ze względu na wykorzystanie platyny.

Bibliografia:

- <https://ieeexplore-1ieee-1org-1600oqg2f00fd.han.bg.pwr.edu.pl/document/4666731>
- https://www.researchgate.net/publication/316713508_A_dielectric_affinity_glucose_microsensor_using_hydrogel-functionalized_coplanar_electrodes
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925400523012698>

Dziękujemy za uwagę!

