

Zespołowy Projekt Studencki - detektor tlenu

Maciej Olczak, Aleksander Szewczyk, Milan Wowra, Emil Łosiak, Karol Pietrzela
Praca wykonana pod opieką dr hab. Krzysztofa Miernika, prof. ucz.

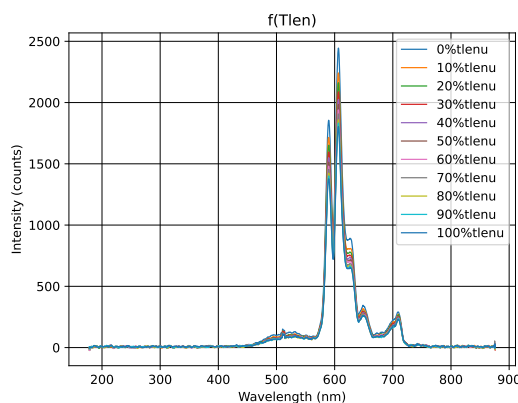
Semestr letni 2025

Streszczenie

Celem projektu było zbudowanie działającego prototypu detektora tlenu w powietrzu opierającym się na mechanizmie fotoluminescencji Tlenku Cyrkonu ZrO_2 domieszkowanego Europem. Zaprojektowaliśmy układ elektroniczny, stworzyliśmy oraz wydrukowaliśmy obudowę oraz zamówiliśmy odpowiednie elementy elektroniczne które złożyliśmy w działający układ. Napisaliśmy oprogramowanie do mikro-kontrolera dzięki której można wykonywać pomiary fotoemisji tlenku cyrkonu zależne od stężenia tlenu w otoczeniu.

Podstawa teoretyczna

ZrO_2 domieszkowany Europem pobudzany światłem ultrafioletowym (405 [nm]) emituje światło z zakresu 580-720 [nm] z najintensywniejszymi sygnałami położonymi przy 590 ± 3 [nm] oraz przy 611 ± 3 [nm] którego intensywność jest zależna od ilości tlenu w powietrzu (rysunek 1). Dokładny mechanizm tej fotoluminescencji nie jest znany, ale podejrzewa się, że tlen osadza się na powierzchni kryształu oraz w wakansach tlenowych przez co dochodzi do quenchingu w całej objętości kryształu i emisji mniej intensywnego promieniowania w zależności od występującego tlenu^[3].



Rysunek 1: Emisja tlenku cyrkonu pobudzanego światłem 405 nm w funkcji % tlenu w powietrzu, pomiar wykonano w instytucie Wysokich Ciśnień PAN

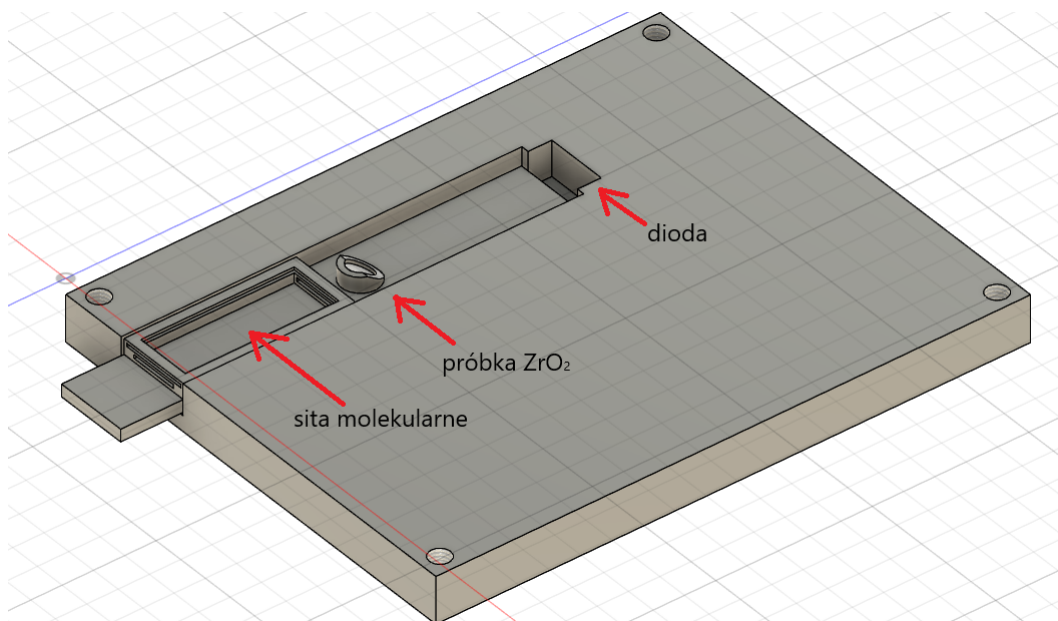
1 Wykonanie projektu

1.1 Układu optyczny

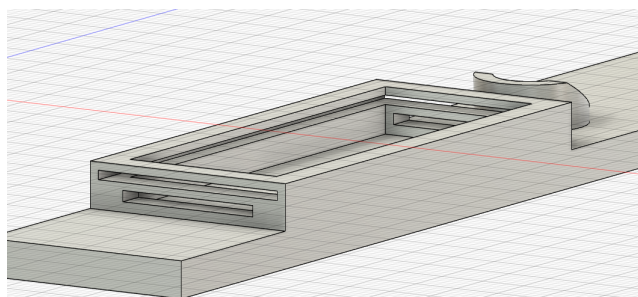
Układ stworzyliśmy wzorując się budową typowych spektrometrów. Dioda świeci bezpośrednio na próbkę, kamera CMOS która zbiera sygnał jest położona pod kątem 90 stopni względem próbki tak aby zbierać tylko emitowany sygnał oraz jak najmniej światła emitowanego przez diodę. Przed kamerą znajduje się filtr longpass 450 [nm] który pozwala nam wyciąć niechciany sygnał od diody jednocześnie zbierając cały sygnał fotoluminescencji próbki.

1.2 Układ elektroniczny

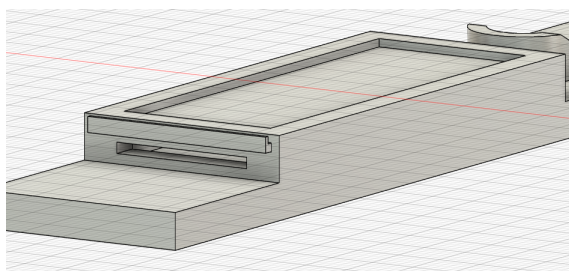
Układ elektroniczny (rysunek 2) składa się z mikrokontrolera Cytron Maker Nano, wyświetlacza LCD 16x2, modułu kamery OV2640, przycisków sterujących, wiatraka, diody LED oraz baterii. Komunikacja między mikrokontrolerem, a ekranem odbywa się poprzez magistralę I²C. Jest ona także wykorzystywana do konfiguracji rejestrów kamerki przed pomiarem. Wymiana danych dotyczących zarejestrowanej klatki odbywa się poprzez równoległą magistralę 8bitową, w pakietach po dwa bajty w formacie RGB565. Skrócona zasada działania: Po uruchomieniu odpowiednim przyciskiem pomiaru, mikrokontroler rozpoczyna rejestrację klatki obrazu z kamery pracującej w trybie CIF (rozdzielczość 352 x 288 pikseli). Otrzymywane dane na bieżąco są rozpakowywane i liczona jest suma zliczeń dla poszczególnych składowych koloru (czerwony, zielony i niebieski). Niestety mała ilość pamięci RAM (2KiB) nie pozwala na zapis pełnej klatki, dlatego zapisywane są jedynie sumy zliczeń. Dalej na podstawie wcześniej ustalonych parametrów kalibracyjnych program oblicza zawartość tlenu w powietrzu i wyświetla na ekranie. Na obecnym etapie nie udało przeprowadzić takiej kalibracji, więc wyświetlana jest znormalizowana do 255 liczba zliczeń dla poszczególnych składowych. Czas pomiaru wynosi około 40 sekund ze względu na wymaganą niską częstotliwość zegara pikseli kamerki (na schemacie PCLK). W innym przypadku mikrokontroler pomija niektóre pakiety na magistrali szeregowej przez niezarejestrowanie szybko zmiennego sygnału zegara.



Rysunek 3: Dolna sekcja obudowy.



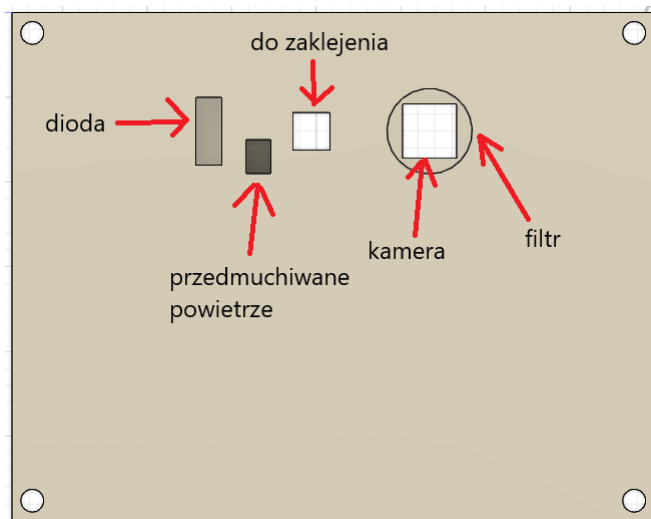
Rysunek 4: Wsuwany element bez przykrywką.



Rysunek 5: Wsuwany element z przykrywką.

W środkowej części jest filtr, druga część miejsca na diodę oraz 2. element na sita molekularne.

Przez sita molekularne przedmuchiwane jest powietrze. Z powodu błędu przy projektowaniu znajduje się też w niej dziura, która została zalepiona. Sekcja przedstawiona jest na rysunkach 4. i 5.

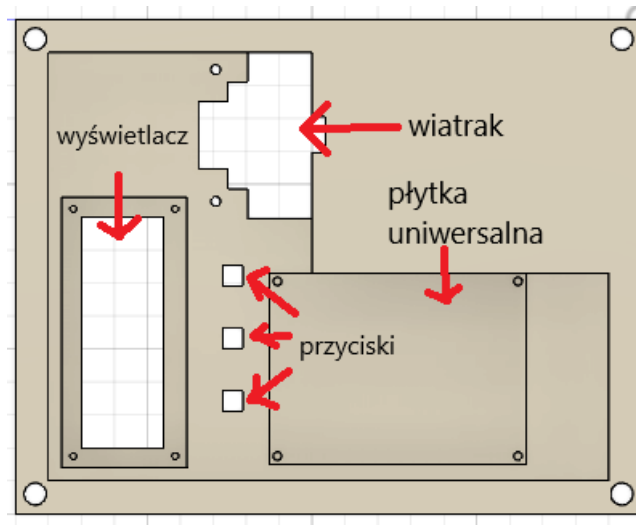


Rysunek 6: Środkowa sekcja obudowy od spodu.

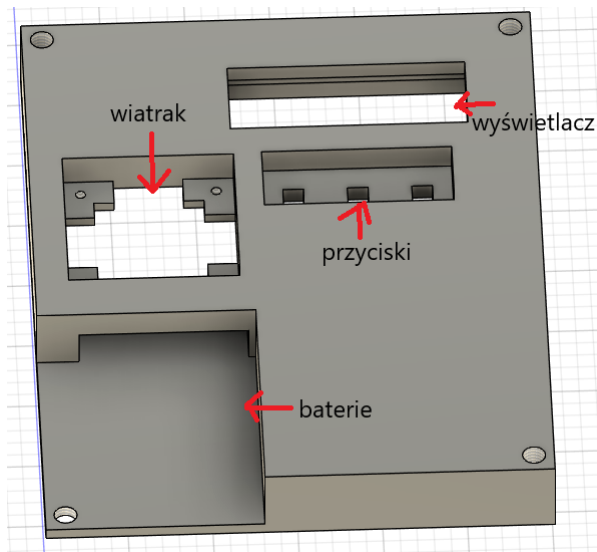


Rysunek 7: Środkowa sekcja obudowy od góry.

W górnej części znajdują się: wyświetlacz, 3 przyciski, mikrokontroler, płytka uniwersalna, bateria i wiatrak. Sekcja przedstawiona jest na rysunkach 6. i 7.

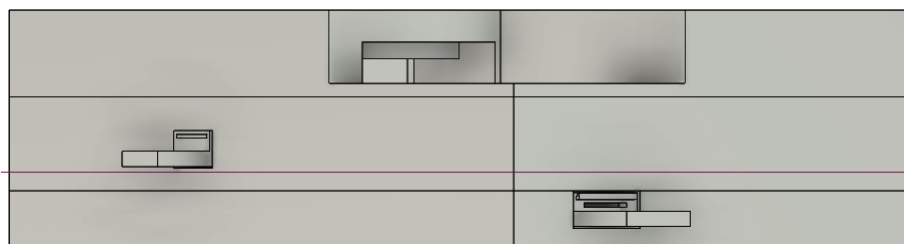


Rysunek 8: Górna sekcja obudowy od spodu. Mikrokontroler jest przyczepiony przy płytce uniwersalnej.

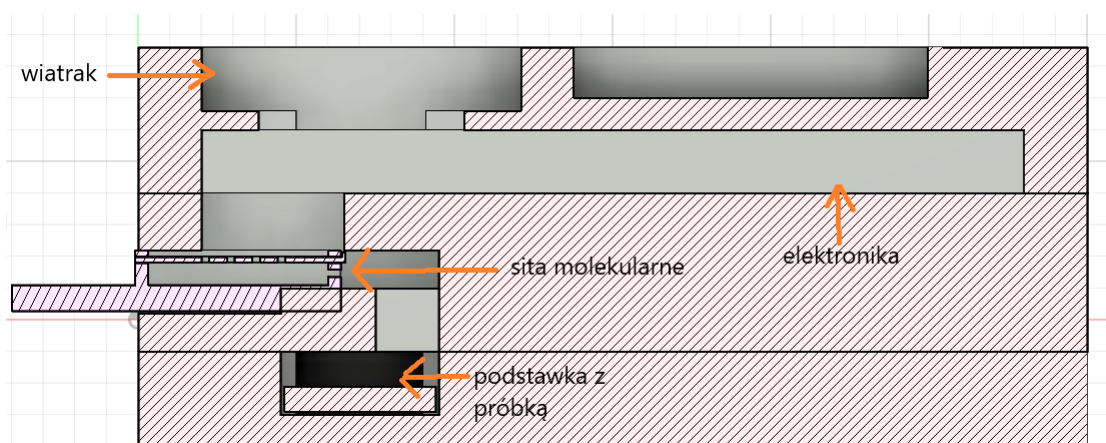


Rysunek 9: Górna sekcja obudowy od góry.

Na rysunku 8. znajduje się całość obudowy. Na rysunku 9. przedstawiony jest przekrój obudowy. Przedstawia on, w jaki sposób wiatrak chłodzi elektronikę oraz dostarcza wysuszone w sitach molekularnych powietrze do próbki.



Rysunek 10: Obudowa.



Rysunek 11: Przekrój obudowy.

1.4 Program do mikrokontrolera

Stworzyliśmy program który obsługuje poprawnie ekran i przyciski. Z kamerką jak na razie się tylko łączy i synchronizuje. Na chwilę obecną nie czyta poprawnie danych z kamierki, ale nad wciąż pracujemy. Problem leży głównie w tym że kamera działa na dosyć wysokim taktowaniu i Arduino czasem nie nadąża, gubi sygnał zegara pikseli (tak nam się przynajmniej wydaje). Wciąż działamy nad rozwiązaniem tego problemu.

2 Podsumowanie

Wykonując projekt zaplanowaliśmy układ optyczny oraz elektroniczny, zamówiliśmy odpowiednie komponenty elektroniczne oraz wykonaliśmy (prawie) działający prototyp, jednak spotkaliśmy na końcowym etapie problemy z odczytem z kamery CMOS. Projekt został wykonany przy pomocy Instytutu Wysokich Ciśnień który wyposażył nas w działającą próbkę ZrO_2 oraz dostarczył dane kalibracyjne.

3 Bibliografia oraz linki

1. Mikrokontroler <https://www.cytron.io/p-maker-nano-simplifying-arduino-for-projects>

2. Kamera CMOS <https://blog.arducam.com/ov2640/>
3. Anna Świderska –Środa, Witold Łojkowski - raport *"Nowy optyczny sensor tlenu na bazie nano-tlenku cyrkonu do ochrony życia i zdrowia oraz ochrony środowiska"*