

PROJEKT ZESPOŁOWY

Ulepszenie stanowiska do ćwiczenia „Badanie efektu Comptona” poprzez wykonanie płytki PCB oraz obudowy 3D interfejsu fotopowielacza

Autorzy projektu: Beniamin Łukianowski, Bartosz Krzeski, Bartosz Woźbiński, Julia Dudek

1. Cel projektu

Celem projektu było zaprojektowanie i wykonanie płytki PCB pełniącej rolę interfejsu fotopowielacza krzemowego Sensl ArrayJ-60035-4P-EVB oraz obudowy 3D dla tej płytki, w celu ulepszenia i rozszerzenia funkcjonalności stanowiska laboratoryjnego wykorzystywanego w ćwiczeniu J15 – Badanie efektu Comptona.

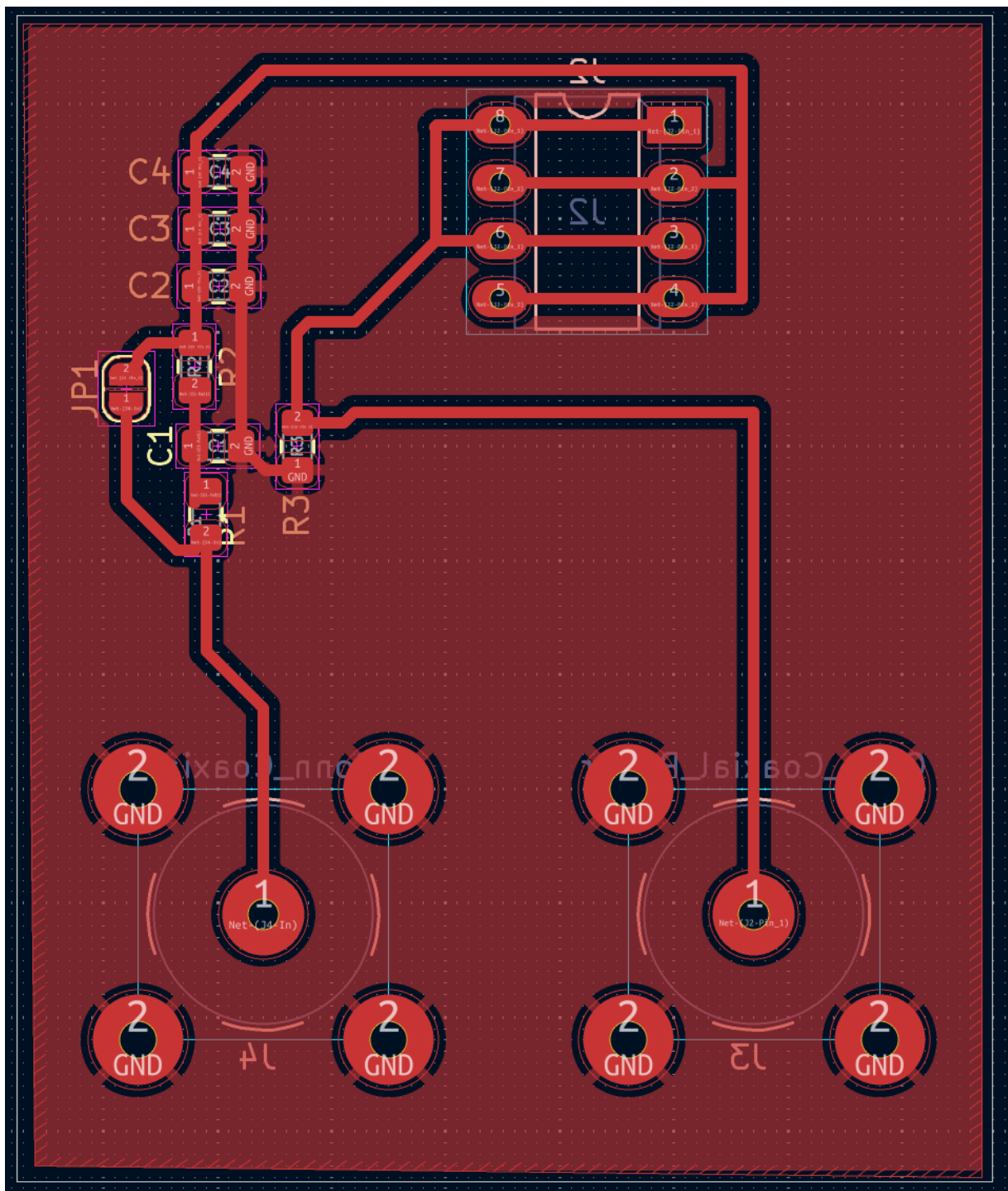
Projekt miał charakter rozwojowy. W pierwotnej wersji ćwiczenia nie istniał układ umożliwiający pomiar energii promieniowania w miejscu rozproszenia z wykorzystaniem drugiego detektora. W ramach projektu zaprojektowano rozwiązanie umożliwiające rejestrację zdarzeń w dwóch detektorach jednocześnie (pomiar koincydencyjny). Takie podejście pozwala na istotne ograniczenie wpływu promieniowania tła, a tym samym na skrócenie czasu wykonywania ćwiczenia przez studentów oraz poprawę jakości danych pomiarowych.

2. Kontekst ćwiczenia laboratoryjnego

Ćwiczenie „Badanie efektu Comptona” polega na doświadczalnym potwierdzeniu zależności energii rozproszonych kwantów gamma od kąta rozproszenia. W trakcie pomiarów analizowane są widma energetyczne promieniowania gamma oraz ich zgodność z zależnością wynikającą z praw zachowania energii i pędu. W klasycznej wersji ćwiczenia wykorzystywany jest detektor scyntylacyjny NaI(Tl) z fotopowielaczem, który zamienia błyski scyntylacyjne na impulsy elektryczne. Impulsy te są następnie analizowane w torze pomiarowym, co pozwala na wyznaczenie energii rejestrowanych kwantów gamma.

W ramach realizowanego projektu stanowisko zostało rozszerzone o drugi tor detekcyjny, co umożliwia wykonywanie pomiarów koincydencyjnych. Dzięki jednoczesnej rejestracji energii w dwóch detektorach scyntylacyjnych: jednym NaI(Tl) i drugim CsI(Tl) możliwe jest tworzenie dwuwymiarowych wykresów zależności energii zmierzonej w obu detektorach, co pozwala na skuteczne odrzucenie większości zdarzeń pochodzących od promieniowania tła. Takie podejście znacząco poprawia selektywność pomiaru i efektywność całego ćwiczenia.

3. Zakres projektu i założenia techniczne



Zaprojektowana płytki PCB pełni rolę interfejsu połączeniowego pomiędzy fotopowielaczem krzemowym Sensl ArrayJ-60035-4P-EVB a resztą aparatury pomiarowej. Mechanicznie płytki stanowi adapter pomiędzy wielopinowym wyprowadzeniem fotopowielacza a standardowymi złączami laboratoryjnymi.

Na płytce zastosowano gniazdo 8-pinowe kompatybilne z fotopowielaczem, co umożliwia jego wygodne i wymienne podłączenie. Dodatkowo przewidziano dwa złącza BNC:

- jedno do doprowadzenia zasilania,

- drugie do wyprowadzenia sygnału analogowego z fotopowielacza.

Projekt obejmował:

1. Zaprojektowanie i wykonanie płytki PCB metodą termotransferu i trawienia.
2. Montaż elementów pasywnych oraz złączy.
3. Zaprojektowanie i wykonanie obudowy 3D dla płytki PCB.

3.1. Zastosowane elementy

Na płytce PCB zastosowano:

- rezystory – wszystkie o wartości 50 Ω ,
- kondensatory – wszystkie o pojemności 10 nF,
- zworki,
- 2 złącza BNC (osobne dla zasilania i sygnału),
- złącze 8-pinowe do podłączenia fotopowielacza.

4. Projekt i wykonanie płytki PCB

4.1. Przygotowanie projektu i materiałów

Projekt ścieżek został wydrukowany laserowo na papierze kredowym (o śliskiej, błyszczącej powierzchni). Użycie drukarki laserowej jest kluczowe, ponieważ toner z takiej drukarki posłuży jako maska odporna na trawienie. Wydruk wykonano w negatywie (czarne ścieżki toneru odwzorowują docelowe ścieżki miedziane) i w odbiciu lustrzanym (aby po transferze na laminat wzór był poprawnie odwzorowany).

Jako podłoże użyto standardowego laminatu epoksydowo-szklanego jednostronnego. Laminat przycięto do rozmiaru nieco większego niż projekt płytki, aby zapewnić margines na ewentualne nierówności krawędzi. Powierzchnię miedzianą starannie oczyszczono i wygładzono – przeszlifowano drobnodziarnistym papierem ściernym i dokładnie spłukano. Tak przygotowaną powierzchnię odłuszczonego alkoholem izopropylowym i osuszono czystym ręcznikiem papierowym. Od tego momentu starano się nie dotykać gołymi palcami pola miedzi (tłuszcz i zabrudzenia mogłyby zakłócić transfer toneru).

4.2. Termotransfer

Na gładkiej powierzchni miedzi ułożono wydrukowany wcześniej wzór (papierem do góry, tonerem do miedzi). Całość umieszczono na twardej, równej powierzchni i przykryto folią. Rozgrzanym żelazkiem (ustawionym na wysoką temperaturę, lecz bez pary) prasowano równomiernie papier z wydrukiem przez kilka minut. Ciepło spowodowało stopienie się toneru i przyklejenie go do miedzi. Po ostygnięciu papier namoczono w wodzie z dodatkiem kwasu cytrynowego i usunięto, pozostawiając toner na ścieżkach.

4.3. Trawienie

Proces trawienia przeprowadza się w celu usunięcia nadmiaru miedzi niechronionej tonerem – tak, aby pozostały jedynie ścieżki pod tonerem. Jako środek trawiący zastosowano roztwór nadsiarczuanu

sodu ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$). Trawienie kontynuowano do momentu, aż wszystkie odsłonięte obszary miedzi zostały całkowicie usunięte – czas trawienia wyniósł niecałe 2 godziny.

Po zakończeniu trawienia płytkę wypłukano, osuszono i usunięto warstwę tonera, odsłaniając gotowe ścieżki.

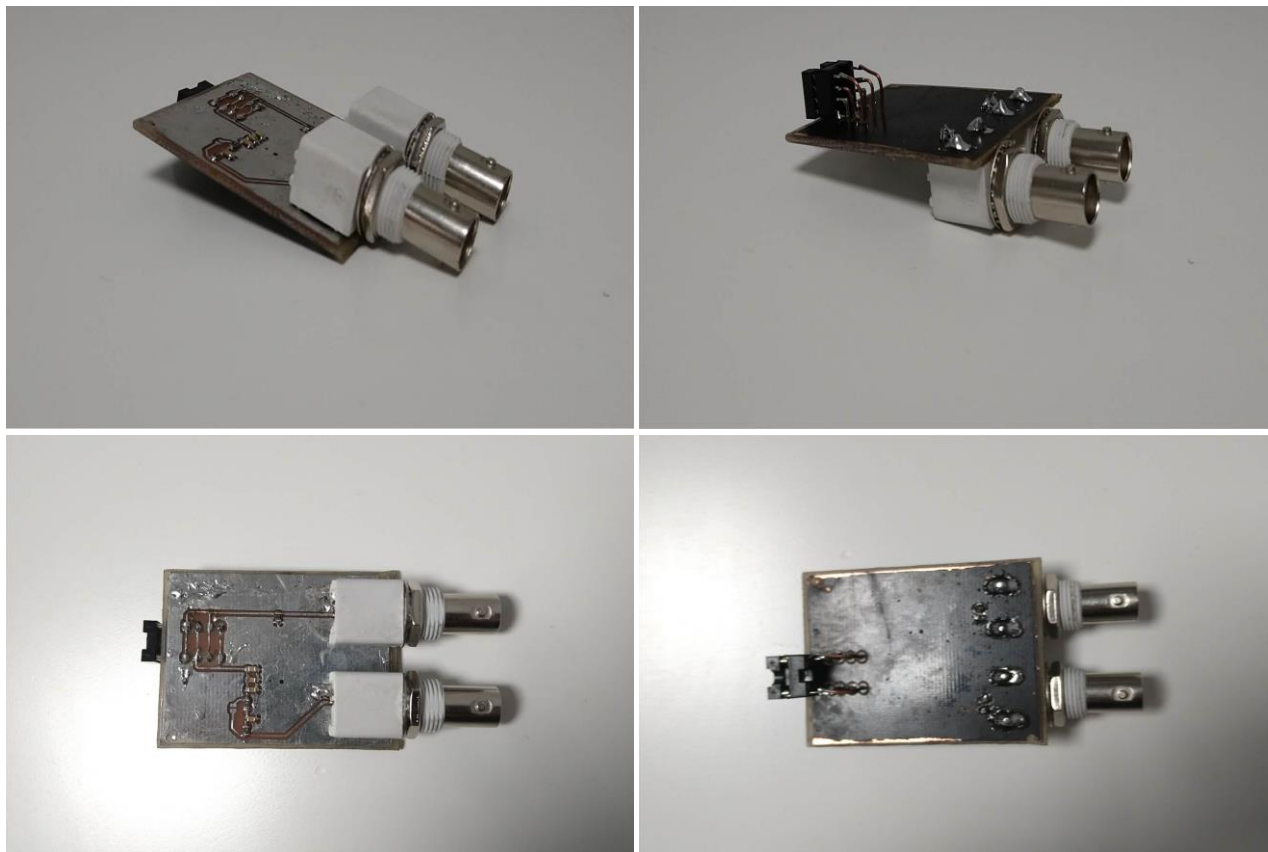
4.4. Obróbka mechaniczna i montaż

Wykonano wiercenie otworów pod elementy przewlekane oraz złącza, dbając o ich osiowość. Następnie dolutowano elementy: rezystory, kondensatory, złącza BNC oraz złącze 8-pinowe.

Po zakończeniu montażu sprawdzono:

- ciągłość ścieżek,
- jakość lutów,
- brak zwarc.

Uzyskana tą metodą płytka spełniała swoje założenia. Wykorzystanie nadsiarczanu sodu jako wytrawiacza okazało się trafne - roztwór ten umożliwił szybkie i równomierne trawienie, zapewniając wyraźne kontury ścieżek i minimalizując podtrawianie miedzi. Metoda termotransferu, mimo że domowa, pozwoliła na wykonanie płytki o jakości wystarczającej do zastosowań laboratoryjnych, przy zachowaniu niskich kosztów.



5. Projekt i wykonanie obudowy 3D interfejsu

5.1. Projekt obudowy

Obudowę oraz pokrywę zaprojektowano w programie Tinkercad. Obudowa przeznaczona jest wyłącznie dla płytki PCB i złączy. Jej zadaniem jest:

- ochrona mechaniczna płytki,
- uporządkowanie połączeń,
- poprawa ergonomii stanowiska.

5.2. Druk 3D



Obudowę i pokrywę wydrukowano w technologii FDM z materiału PLA w makerspace UW. Zastosowana drukarka: Original Prusa i3 MK3S z Bondtech Upgrade Kit – BMG Extruder (bardzo podobny model jest widoczny na zdjęciu powyżej).

Przed drukiem oczyszczono magnetyczną podstawkę roboczą, aby wydruk dało się łatwo i bezpiecznie zdjąć po zakończeniu pracy. Czas druku obu elementów wyniósł około 3 godziny.

5.3. Korekta po wydruku

Po wydruku stwierdzono, że otwór na fotopowielacz był w projekcie nieznacznie przesunięty. Problem rozwiązano poprzez delikatne nadpiłowanie otworu, co umożliwiło prawidłowe dopasowanie i montaż.



6. Podsumowanie i wnioski

W ramach projektu zespołowego zaprojektowano i wykonano płytkę PCB pełniącą rolę interfejsu fotopowielacza oraz dedykowaną obudowę 3D, stanowiącą ulepszenie stanowiska do ćwiczenia „Badanie efektu Comptona”. Opracowane rozwiązanie umożliwia realizację pomiarów

koincydencyjnych z wykorzystaniem dwóch detektorów, co pozwala na skuteczniejsze ograniczenie wpływu promieniowania tła oraz skrócenie czasu wykonywania ćwiczenia przez studentów.

Wykonana płytką PCB zapewnia uporządkowane połączenia pomiędzy fotopowielaczem a aparaturą pomiarową, a obudowa 3D poprawia ochronę mechaniczną i ergonomię stanowiska. Projekt spełnił założone cele techniczne i dydaktyczne, a zastosowane rozwiązania są funkcjonalne oraz proste w obsłudze.