INSTITUTUL NAŢIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE
PENTRU FIZICĂ ŞI INGINERIE NUCLEARĂ
"HORIA HULUBEI"
IFIN-HH
Str. Atomiştilor 407, Com. Măgurele, Jud. Ilfov, C.P. MG-6, cod 077125
Tel (021) 404 2300, Fax (021) 457 44 40

AVIZAT,

DIRECTOR GENERAL IFIN-HH,

Dr. Nicolae V. Zamfir

# RAPORT DE CERCETARE

**Denumirea proiectului:** Fizica interacţiilor nucleare şi a fazelor materiei hadronice: noi rezultate, activităţi de cercetare - dezvoltare, aplicaţii - acronim NIHAM

**Denumirea etapei:** *Detectori de radiaţie de tranziţie cu granularitate ridicată pentru rate mari de numărare (HCRTRD)*

**Perioada acoperită:** 01.05.2006 - 15.09.2006

**Obiectivele specifice etapei raportate în corelaţie cu obiectivul general al proiectului:**

Scopul prezentului proiect este de a obţine noi rezultate experimentale şi teoretice privind structura nucleară şi fazele materiei nucleare şi aplicaţii în alte domenii de activitate, respectiv obţinerea de date necesare cercetărilor actuale în domeniul reactorilor hibrizi.

Obiectivele etapei sunt:

- O nouă generaţie de detectori TRD cu eficienţă ridicată şi timp de drift mic/raport experimentare prototip;
- Proiectarea de noi structuri pentru detectori de radiaţie de tranziţie cu eficacitate ridicată şi timp de colecţie redus/schiţe de execuţie;
- Realizarea de noi structuri pentru detectori de radiaţie de tranziţie cu eficacitate ridicată şi timp de colecţie redus/componente şi asamblare detectori;
- Testarea de noi structuri pentru detectori de tranziţie cu eficacitate ridicată şi timp de colecţie redus/raport experimentare prototip.

## Activităţi efectuate şi rezultate obţinute

**Ansamblul experimental CBM**

Acceleratorul FAIR, ce urmează a fi construit la GSI Darmstadt, va furniza fascicule de ioni grei până la uraniu într-un domeniu de energii cuprins între 2 - 5 AGeV pentru raporturi Z/A = 0.5 şi până la 35 AGeV pentru raporturi Z/A = 0.4. Energia maximă a fasciculelor de protoni va fi de 90 GeV.

Colaborarea CBM (Compressed Baryonic Matter) îşi propune să construiască un ansamblu experimental dedicat experimentelor cu ioni grei în scopul investigării proprietăţilor materiei puternic confinate aşa cum este produsă în ciocnirile nucleu - nucleu. Scopul acestor investigaţii este de a explora diagrama de fază QCD a materiei nucleare în regiunea de temperaturi moderate şi densităţi bayonice foarte mari (3 - 5$\rho_0$).

CBM va fi un aranjament experimental pentru experimente cu ţintă fixă în care provocarea experimentală cea mai importantă este dată de ratele de reacţie extrem de ridicate de pană la $10^7$ evenimente/secundă.

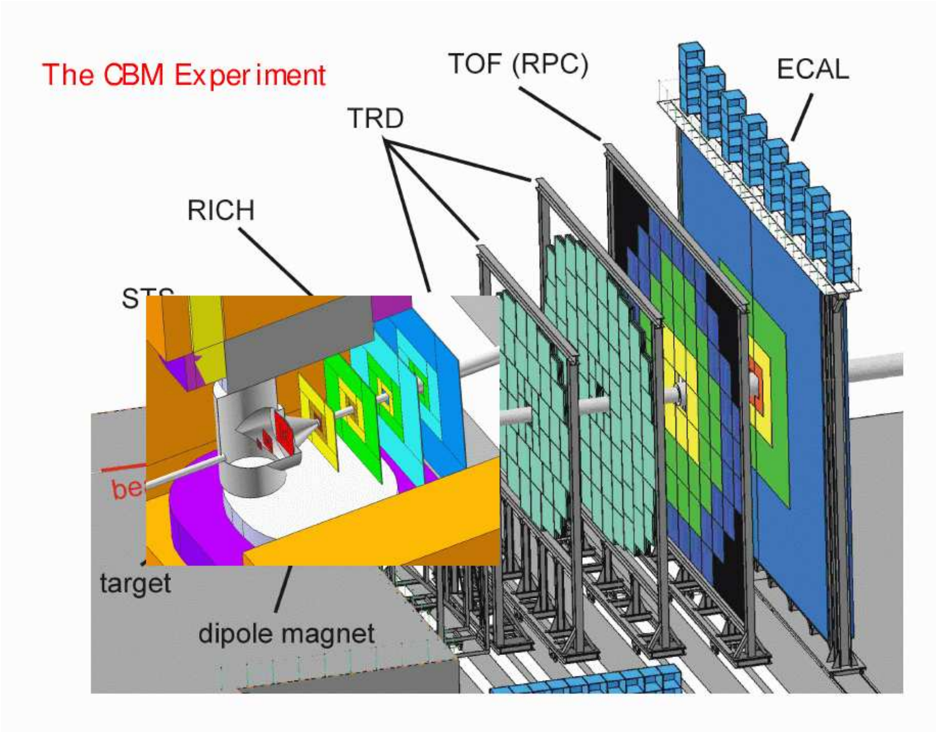


Figure 1: Schiţă a aranjamentului experimental CBM

Aceste condiţii impun performanţe fără precedent cu privire la rapiditatea detectorilor şi la rezistenţa acestora în câmpuri intense de radiaţii. O imagine de ansamblu a acestui aranjament experimental poate fi urmărită în figura 1.

**Subdetectorul de radiaţie de tranziţie (TRD)**

Subdetectorul de radiaţie de tranziţie are rolul de a identifica electronii şi pozitronii de energie mare ($\gamma$>2000) în scopul reconstrucţiei mezonilor J/$\Psi$ şi de a realiza identificarea de traiectorii pentru toate particulele încărcate. Estimarile făcute prin simulări şi bazate pe experienţa câştigată în dezvoltarea de detectori de radiaţie de tranziţie în cadrul colaborărilor ALICE şi ATLAS au arătat că se pot atinge factori de rejecţie a pionilor de până la 200 (pentru impulsuri de peste 2 GeV/c) la o eficienţă de detecţie a electronilor de 90%. Pentru o bună identificare a traselor rezoluţia de poziţie ar trebui să fie de ordinul a 200 $\mu$m.

Principala provocare este de a dezvolta detectori gazoşi de înaltă granularitate care pot face faţă unor medii cu rate de numărare ridicate, în special pentru zona unghiurilor polare mici. De exemplu, în zona unghiurilor polare mici, la o distanţă de 4 m de ţintă, pentru o rată a evenimentelor de 10 MHz în ciocnirile Au+Au la 25 AGeV rata de numărare poate atinge 100kHz/cm$^2$. Menţinerea performanţelor în condiţiile unor rate mari de numărare este necesară pentru 30% din aria activă a detectorului TRD (care este de 500 m$^2$ în total).

Subdetectorul de radiaţie de tranziţie al aranjamentului experimental CBM va fi divizat în trei staţii, poziţionate la distanţele de 4, 6 şi 8 m de ţintă. Studiile detaliate în ce priveşte performanţele de identificare a traiectoriilor în combinaţie cu toţi subdetectorii acestui aranjament experimental, vor conduce la decizia finală a gradului de segmentare, ca şi la cerinţele finale asupra rezoluţiei de poziţie în fiecare dintre cele trei plane ale subdetectorului TRD. Grosimea totală a detectorului în termeni de lungime de radiaţie trebuie păstrată cât mai mică posibil pentru a minimiza împrăştierile multiple şi reacţiile secundare. Amestecul de gaz folosit ca mediu de detecţie trebuie să fie bazat pe Xe pentru a maximiza absorbţia radiaţiei de tranziţie (radiaţie X) produsă la trecerea prin radiator a electronilor şi pozitronilor. Datorită mediului cu rate mari de numărare care este de aşteptat în experimentele CBM, detectorii ce compun subdetectorul TRD trebuie să aibă o viteză mare de răspuns şi un timp mort cât mai mic. Pentru a asigura aceată viteză şi a minimiza efectele generate de densitatea mare de sarcină spaţială creată în detector, grosimea zonei active a detectorului trebuie să fie mai mică de 1 cm.

**Detectori TRD bazaţi pe camere proporţionale multifilare (MultiWire Proportional Chamber - MWPC)**

În cadrul activităţilor de R&D pentru realizarea unui nou prototip de detector TRD au fost investigate conceptele care au stat la baza dezvoltării detectorilor TRD - ALICE şi TRT - ATLAS. Aceste două versiuni nu satisfac, niciunul, în totalitate, cerinţele impuse subdetectorului de radiaţie de tranziţie al aranjamentului experimental CBM: în cazul detectorului TRD - ALICE capabilităţile de rată ale acestuia trebuie îmbunătăţite, iar TRT -ul ATLAS nu satisface cerinţele de granularitate ridicată. În abordarea dezvoltării unui nou prototip de detector TRD pentru rate mari de numărare am tinut seama atât de faptul ca TRD-ul ALICE are o granularitatea ridicată, dată de dimensiunea mică a celulei de citire a semnalului, de 6 cm$^2$ şi de faptul că TRT-ul ATLAS işi menţine performanţele până la rate de numărare de 1MHz/cm$^2$.

Una din soluţiile considerate este o cameră proporţională multifilară (MWPC) cu o zonă de drift de 3 mm, având electrodul multifilar în mijloc şi pe cel de citire a semnalelor segmentat în pad-uri de formă dreptunghiulară. Avantajul unui astfel de design îl constituie faptul că celula de citire a semnalelor poate fi făcută suficient de mică pentru a face faţă multiciplităţilor ridicate din zona unghiurilor mici.

Primul prototip de detector construit de noi a fost o MWPC de tipul menţionat mai sus care a fost testat la radiaţia X a sursei de $^{55}$Fe pentru determinarea rezoluţiei energetice şi în fascicul în scopul testării efectului unor rate de incidenţă de până la 100 kHz/cm$^2$, asupra performanţelor prototipului.

Testele cu sursă au arătat că prototipul are o rezoluţie energetică foarte bună ($\sigma = 8.6\%$), ceea ce este o indicaţie a unei discriminări electron/pion performante.

Testele efectuate în fascicul de particule încărcate cu acest prim prototip au avut drept scop studiul performanţelor acestuia în termeni de deteriorare a semnalului şi degradare a rezoluţiei de poziţie în funcţie de rata de numărare.

Dependenţa amplitudinii şi a sarcinii pulsului de semnal (ambele reflectând amplificarea în gaz), în funcţie de rata de incidenţă, pentru diverse tensiuni anodice, amestecuri de gaz şi configuraţii de anod au arătat că structura funcţionează cu modificări minime ale semnalului, până la rate de incidenţă de 100 kHz/cm$^2$. Rezoluţia de poziţie a acestui prototip a fost de 350 $\mu$m, iar deteriorarea ei a fost mai mică de 50 $\mu$m la rata de numărare de 100 kHz/cm$^2$.

Rezultatele primului test în fascicul a configuraţiei de detector TRD realizat de noi pentru a fi utilizat în condiţiile unei rate de numărare de până la 100 kHz recomandă această structură drept soluţie pentru o mare parte din subdetectorul de radiaţie de tranziţie al experimentului CBM.

## Detector de radiaţie de tranziţie cu eficienţă crescută de conversie a radiaţiei X pentru mediu cu rate mari de numărare

Menţinerea performanţelor detectorului în condiţiile unui mediu de rate mari de numărare s-a facut însă cu preţul unei eficienţe de conversie a radiaţiei de tranziţie mici; estimările făcute în cadrul colaborării CBM pe baza simulărilor Monte Carlo care au luat în consideraţie grosimea de gaz a detectorului, grosimea radiatorului şi proprietăţile de bază ale acestuia (grosimea foliilor de material radiator si spaţiul dintre ele) au arătat ca este nevoie de un număr de 9 - 12 straturi de astfel de detectori de tip MWPC pentru a atinge un factor de rejecţie a pionilor de 1 %.

Pentru a diminua numărul de straturi de detectori TRD necesari atingerii factorului de rejecţie menţionat în scopul minimizării cantităţii de material aflat în calea fasciculului şi folosirii unui număr minim de canale de citire a semnalelor trebuie crescută eficienţa de conversie a radiaţiei X într-un singur modul, păstrând performanţele în mediu de rate mari de numărare ale primului prototip.

Acest obiectiv poate fi realizat prin simetrizarea primei configuraţii de detector de radiaţie de tranziţie faţă de electrodul de citire a semnalelor.

### 1. Detalii Constructive

#### 1.1 Consideraţii generale

Pentru a satisface cele două cerinţe principale - eficacitate ridicată şi timp de colecţie redus - s-a proiectat şi relizat un nou tip de detector cu radiaţie de tranziţie al cărui concept este prezentat în fig.1.

În fapt este un dublu detector cu radiaţie de tranziţie ale cărui elemente principale sunt: planul catodic de colecţie a semnalului indus, două plane anodice formate din fire metalice pe care se aplică tensiunea inaltă şi două plane catodice exterioare de închidere cuplate la potenţial zero. Din considerente de optimizare a eficacităţii de detecţie şi a colecţiei semnalului electronic distanţa dintre planele constitutive ale detectorului a fost fixată la 3 mm. Electrodele catodice exterioare trebuie să fie foarte subtiri pentru a reduce la minim absorbţia radiaţiei de tranziţie creată în radiator. În acest scop s-a ales ca aceste electrode să fie confecţionate din folii subţiri, nu mai groase de 20-25 microni, din kapton sau mylar acoperite pe o fată, sau pe ambele, cu o depunere subţire de aluminiu. S-a precizat mai sus ca planele anodice sunt formate din fire metalice. Din considerente de uniformitate şi intensitate ale câmpului electric s-a ales ca firele anodice să fie facute din fir de wolfram cu diametrul de 20 microni acoperit cu aur. Din fig.2 este evident că toate aceste electrode, pentru a fi perfect plane şi paralele trebuie montate pe rame cu grosimea calibrată şi prelucrate în mod corespunzator. Elementul nou, elementul principal al acestui detector, este electroda colectoare a semnalului electronic. Aceasta a fost proiectată în asa fel încât să aibă două feţe colectoare separate şi izolate între ele. Ideea de la care s-a pornit a fost aceea că este posibil ca radiaţia de tranziţie să nu fie absorbită complet în prima jumatate

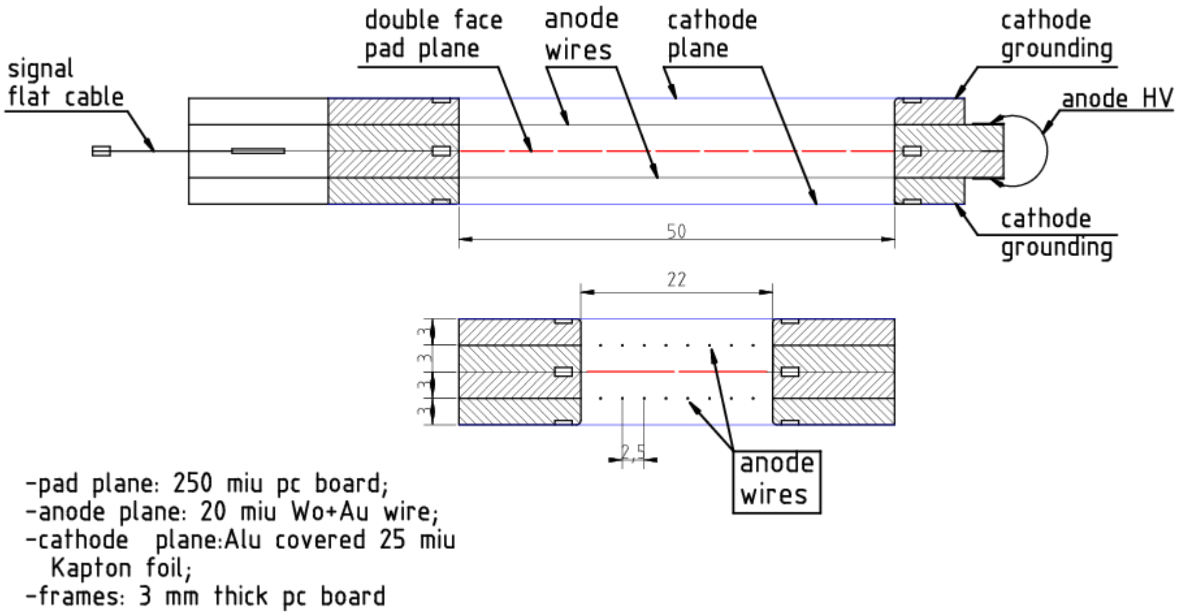


Figure 2:

a detectorului, ceea ce conduce direct la deprecierea eficacităţii de detecţie a acestuia. Dacă detectorul mai are o secţiune identică cu prima, partea de radiaţie de tranziţie ramasă va fi absorbită în această secţiune şi, prin însumarea sarcinilor colectate, se furnizează un semnal electronic care reprezintă mult mai exact radiaţia de tranziţie absorbită în detector. Aceasta reprezintă creşterea eficacităţii de detecţie a detectorului cu consecinţă directă în creşterea preciziei de identificare în separarea electron-pion.

### 1.2 Proiectarea electrodei colectoare

La detectorii cu radiaţie de tranziţie bazaţi pe camere de ionizare multifilare folosiţi în unele experimente (ex. ALICE), citirea semnalelor se face cu ajutorul unor plăcuţe de cupru de forma dreptunghiulară decupate pe suprafaţa metalizată a unui circuit imprimat subţire, cu grosimea de 50 microni. În literatura de specialitate şi în limbajul curent al constructorilor de detectori, un astfel de dreptunghi metalizat este cunoscut sub denumirea de "pad", iar planul ce conţine aceste pad-uri se numeşte "pad plane". Pentru uşurinţa descrierii detectorului nostru vom folosi această formulă consacrată de "pad plane". În cazul detectorilor cu radiaţie de tranziţie cu o singură secţiune de detecţie pad-urile, decupate pe faţa metalizată a circuitului imprimat, sunt puse în legatură cu piste de semnal imprimate pe cealaltă faţă a placii de circuit imprimat. Contactul dintre cele doua feţe se realizează cu ajutorul unor orificii metalizate. În continuare pistele, reprezentând fiecare câte un pad sunt grupate în seturi bine precizate care conduc la conectorii de semnal. De aici, prin cable speciale, semnalele sunt trimise la electronica aferentă. Structura electrodei de citire, şi în cazul detectorului nostru, este formată tot din pad-uri şi este prezentată în fig.3. Sunt 18 pad-uri pe fiecare faţă, fiecare cu dimensiunile de 5mm x 10mm. Dimensiunile pad-urilor, precum şi cotele generale de gabarit, au fost proiectate în acord cu funcţia şi poziţia posibilă a acestui detector în configuraţia viitorului experiment CBM de la FAIR GSI Darmstadt. După cum se vede din fig.2, ambele feţe au o structură identică. Culoarea gri indică tot ceea ce este legat de semnal: colecţie pe pad şi transfer la conector. Pentru a diminua influenţa electrică reciprocă dintre liniile de transmisie s-au prevăzut linii de potenţial zero (gri deschis). Contactul electric dintre două pad-uri suprapuse s-a prevăzut a se face cu

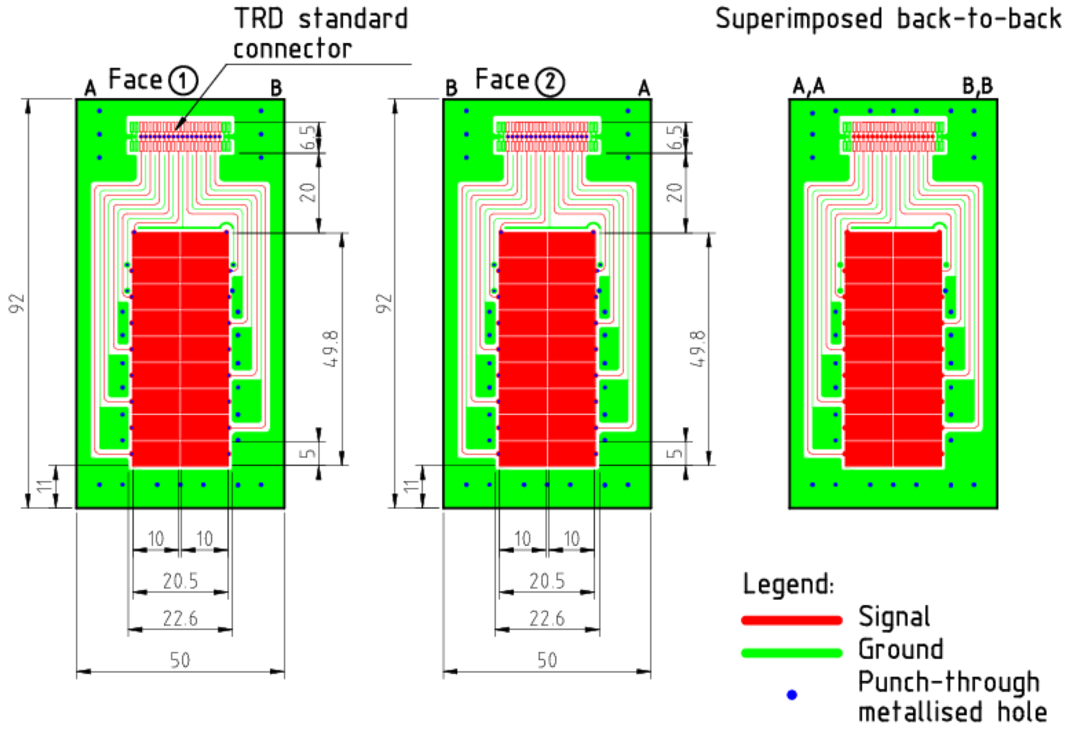


Figure 3:

ajutorul unor micro orificii metalizate; la fel şi pentru liniile de potenţial zero. Deasemenea, s-a prevăzut ca lipirea conectorului pentru cablu flexibil să fie posibilă pe indiferent care faţă a electrodei colectoare. Din considerente legate strict de condiţiile tehnologice existente în ţara noastră, primele exemplare ale electrodei colectoare au fost confecţionate din folie de circuit imprimat cu grosimea de 250 microni şi placată pe ambele feţe cu un strat de cupru de 15-20 microni. Decuparea circuitului s-a facut prin tehnologie electro-foto-chimică asistată de calculator la cotele precizate în fig.2. Rezultatul este electroda colectoare cu circuite electrice identice şi perfect aliniate pe ambele feţe. Prin punerea în contact electric a pad-urilor de pe cele două feţe se conferă acestei electrode proprietatea particulară de a furniza, pe fiecare pad, un semnal unic şi atunci cand colecţia de sarcină se face pe ambele feţe.

Pentru ca radiaţia de tranziţie să penetreze prin electrodă, aceasta nu trebuie să fie mai groasă de 20-25 microni. Până în prezent nu se cunoaste dacă în Romania exista tehnologii de realizare de circuite imprimate pe folii de plastic subţiri. În cadrul cooperarii internaţionale FAIR-CBM de la GSI Darmstadt a apărut posibilitatea de a confecţiona electrodele în Germania. În acest scop, proiectul făcut de noi (fig.2) a fost trimis la Universitatea Muenster, unde s-a reuşit confecţionarea unui set de electrode pe folie de kapton cu grosimea de 25 microni, structura de paduri fiind identică.

### 1.3 Asamblarea detectorului

În paralel cu lucrările privind electroda colectoarea au fost executate şi restul de componente ale detectorului. În realizarea acestora s-au urmărit: asigurarea geometriei de detecţie, transportul corect al tensiunii electrice înalte şi a semnalelor, izolarea electrostatice, etanşietatea faţă de scurgerile de gaz, transportul gazului de detecţie şi nu în ultimul rând, precizia în definirea distanţei dintre planele anodice şi catodice. Menţionăm că acest detector nu este demontabil ci, o dată asamblat, se prezintă ca un monolit. Prin urmare, nu are garnituri de etanşare, şuruburi, etc. Ramele detectorului au fost confecţionate din

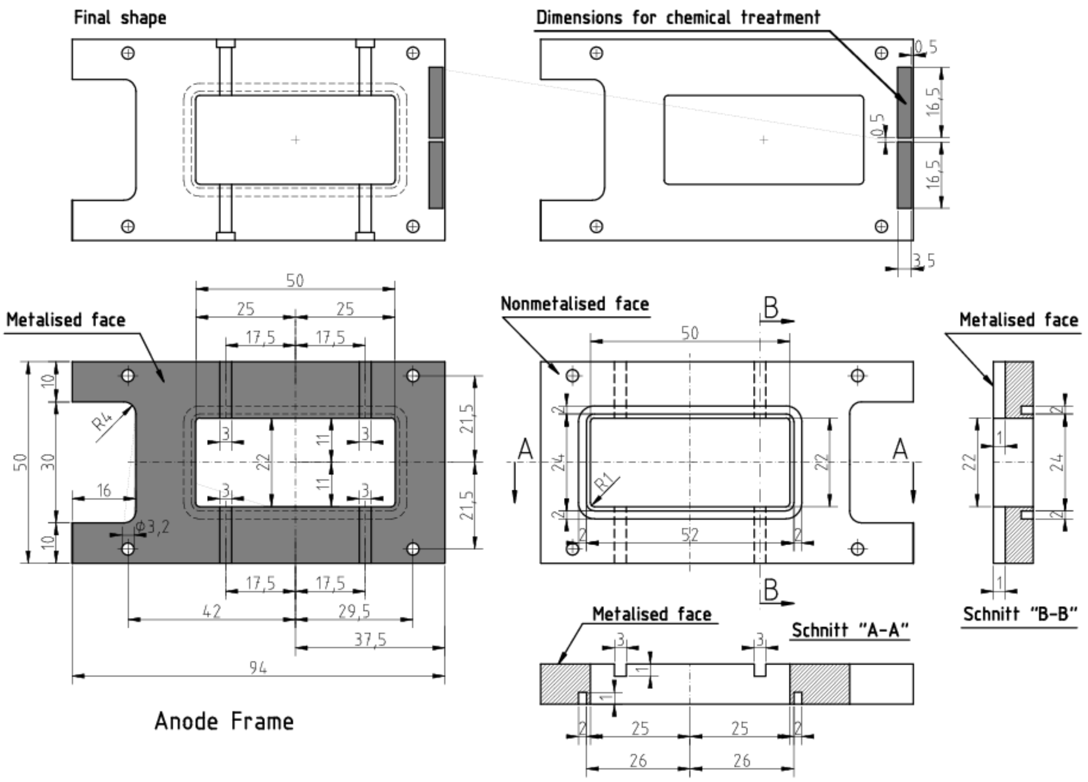


Figure 4:

placa tip circuit imprimat monoplacat cu cupru şi cu grosimea de 3 mm. În fiecare detector s-au definit câte două tipuri de rame: rama anodică şi rama catodică. În fig.4 se prezintă configuraţia şi detalii de execuţie ale ramei anodice. Se remarcă detalii de natură să asigure calitatea construcţiei cum ar fi, canalul de colectare a surplusului de raşină epoxidică şi canalele de transport pentru gazul de detecţie. În final, după prelucrările mecanice, pe partea metalizată cu cupru, se execută, prin decapare chimică, cele două piste pe care se lipesc firele anodice de wolfram acoperit cu aur. Cele două piste separate asigură posibilitatea de a opera detectorul cu două secţiuni distincte. Rama catodică este prezentată în fig.5 şi nu diferă prea mult de precedenta din punctul de vedere al prelucrărilor mecanice.

Excepţie face faptul ca faţa metalizată cu cupru se lasă intactă spre a permite cuplarea foliei catodice la potenţial zero. Deoarece detectorul este format din două compartimente distincte etanşate între ele de electroda colectoare, rezultă că fiecare compartiment trebuie alimentat separat cu gaz de detecţie.

Modul în care s-a rezolvat acest lucru ete sugerat în fig.6, intrarea şi iesirea gazului fiind asigurate de olive miniaturale ataşate corpului detectorului. Pentru a evita aglomerarea cu olive montate pe aceeasi linie, sus şi jos, acestea au fost amplasate simetric spre extremităţile volumului de detecţie sus şi jos aşa cum se sugerează în fig.6 sus.

Pentru aceasta canalele de transport a gazului au fost executate "in oglindă" pentru fiecare pereche de rame anod-catod aşa cum se arată în fig.7. Având toate componentele construite, s-a trecut la confecţionarea planelor anodice şi catodice. Primul pas a fost construirea planelor anodice din fir de wolfram aurit de 20 microni. Pentru aceasta s-a folosit maşina specială de construit grile pentru TRD-ALICE. Pe două rame rectangulare cu laturile de 500 mm x 600 mm cuplate pe maşina s-au bobinat două grile cu pasul de 2,5 mm între fire sub o tensiune mecanică de întindere de 50 cN. În continuare, pe o placă plană cu suprafaţă calibrată, s-a construit un dispozitiv de fixare precisă a ramelor anodice în grupuri de căte şase. Peste ramele anodice astfel fixate s-a asezat cadrul cu fire şi printr-un sistem de reglaj firele au fost asezate tangent la suprafaţa ramelor şi centrate în acord cu geometria de detecţie. Modul de executare al acestei operaţiuni extrem de dificile este sugerat în fig.8-a.

Fixarea firelor pe rame se execută în două etape. În prima etapă se depune peste firele de interes raşină epoxidică pe zonele precizate în fig.8-a. După polimerizarea completă a răşinii epoxidice se procedează la sudarea cu cositor pe pistele de cupru numai a firelor care acoperă suprafaţa activă a detectorului. În continuare, cu precauţii extreme, firele sunt tăiate pe liniile de lipire/sudare exterioare şi se indepărtează restul de fire nefolosite iar rama anodică, respectiv planul anodic, arată ca în fig.8-b. Poziţionarea firelor anodice în raport cu pad-urile este prezentată în fig.8-c. Se observă că fiecare secţiune a electrodei colectoare este acoperită de patru fire anodice fixate simetric în raport cu axa de simetrie longitudinală a detectorului. Lipirea ramelor anodice pe electroda colectoare se face secvenţial: se lipeste pe o fată a electrodei colectoare şi după polimerizare se lipeşte a doua ramă. În paralel, pe ramele catodice, se lipesc foliile de kapton sau mylar aluminizat şi, în final, se ataşează tot prin lipire pe o faţă şi pe cealaltă a corpului format de cele două anode şi electroda colectoare. Pentru a asigura planeitatea şi paralelismul electrodelor, montajul s-a facut pe o masă metalică cu suprafaţa perfect calibrată. Deasemenea, centrarea componentelor s-a realizat cu patru stifturi fixate în orificiile special construite. În această etapă detectorul se prezintă ca un corp monolit, asamblat numai prin lipire cu raşină epoxidică fără posibilitatea de a fi deschis pentru remedieri şi apoi închis la loc. Acest fapt justifică precauţiile deosebite avute în vedere în toate etapele de proiectare, execuţie şi asamblare. În final, în orificiile special construite, se fixează olivele pentru transportul gazului de detecţie, se lipeşte conectorul pentru transportul semnalelor electrice, alimentarea cu tensiune electrică înaltă şi conexiunile de potenţial zero. S-a menţionat la început că acest tip de detector, şi rapid şi eficient, poate fi folosit în experimente viitoare în proiectul CBM. Detectorii pot lucra individual sau în cascadă, aşa cum se sugerează în fig.9, fiecare detector fiind flancat de stratul corespunzător de radiator. În prezent, ca radiator se foloseşte un material plastic numit Rohacell şi pâslă din fibre de polipropilenă. Acestea pot fi folosite separat sau împreună în diferite proporţii şi grosimi. Pentru experimentul de faţă, radiatorul este construit din placă de Rohacell la cotele precizate în fig.10. Fiecare segment de radiator se aplică direct pe faţa detectorului, întregul montaj fiind fixat cu două flanşe de aluminiu la capete şi patru şuruburi lungi. Înainte de a fi testaţi în fascicul, detectorii trebuie testaţi şi calibraţi în laborator cu surse beta sau radiaţii X. Pentru aceasta s-a construit un colimator special dintr-o placă de Rohacel în care s-au practicat orificii cu diametru de 3 mm (fig.11). Poziţiile orificiilor colimatorului au fost astfel alese încat să dea posibilitatea de a investiga răspunsul detectorului în centru şi la extreme pe ambele secţiuni de detecţie.

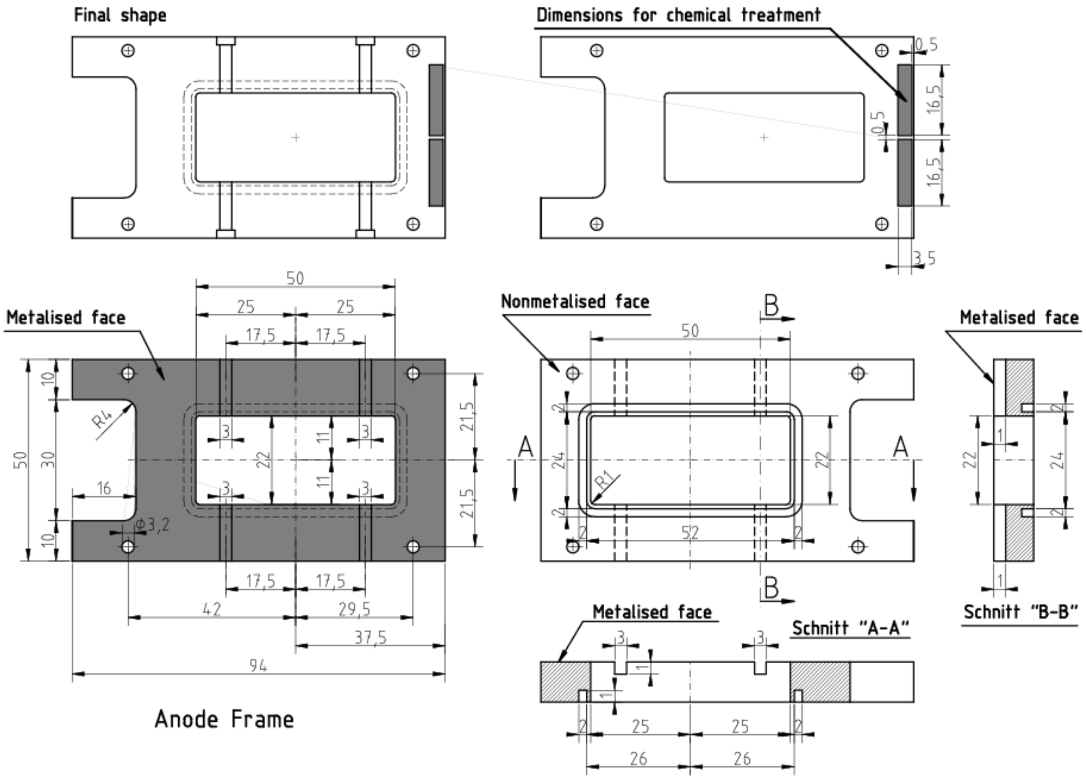


Figure 5:

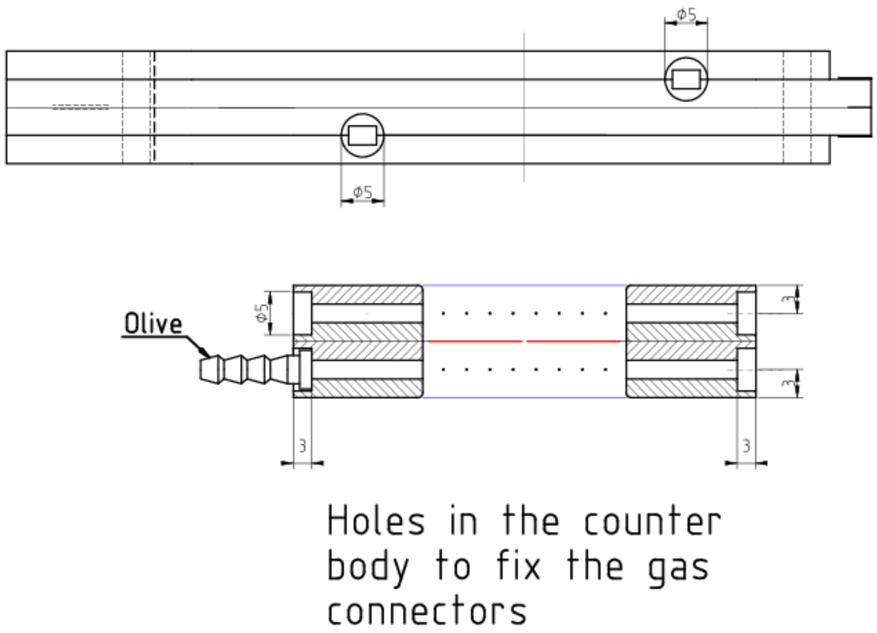


Figure 6:

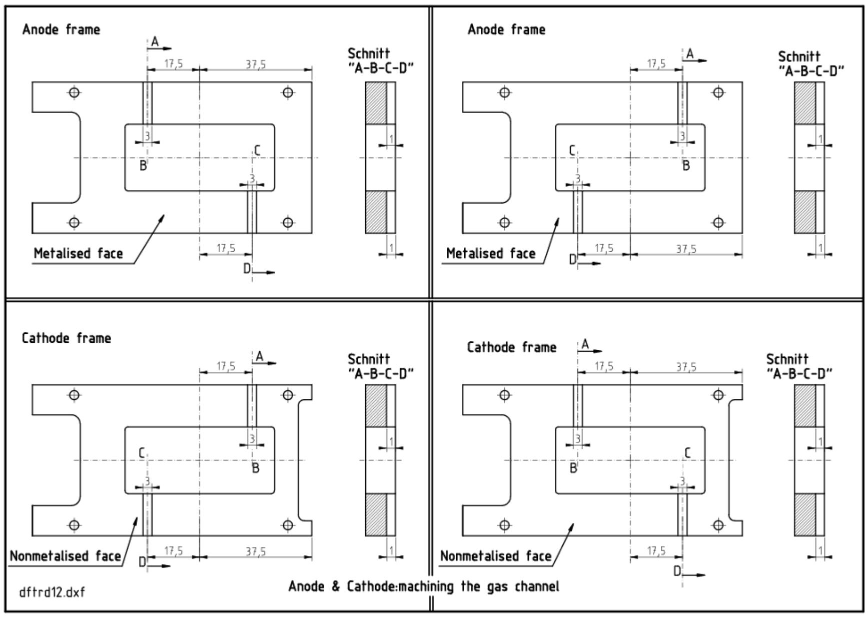


Figure 7:

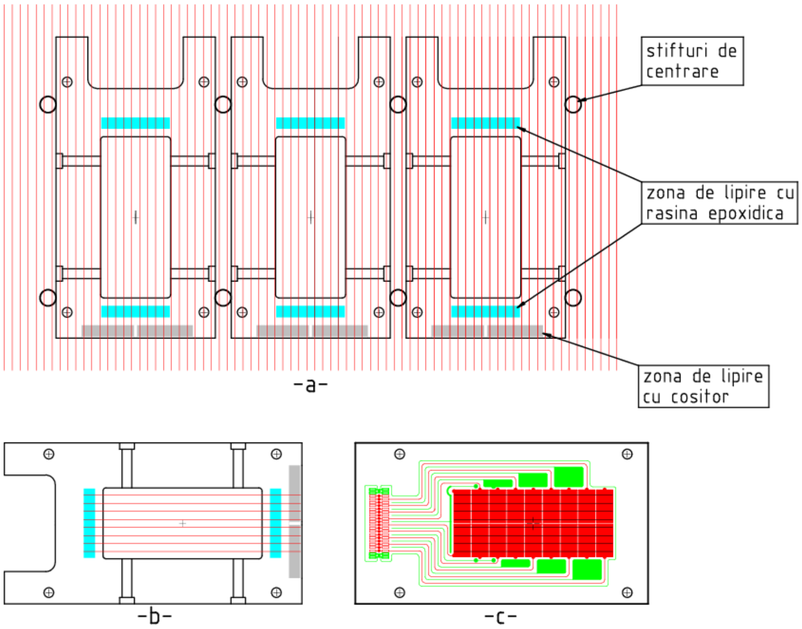


Figure 8:

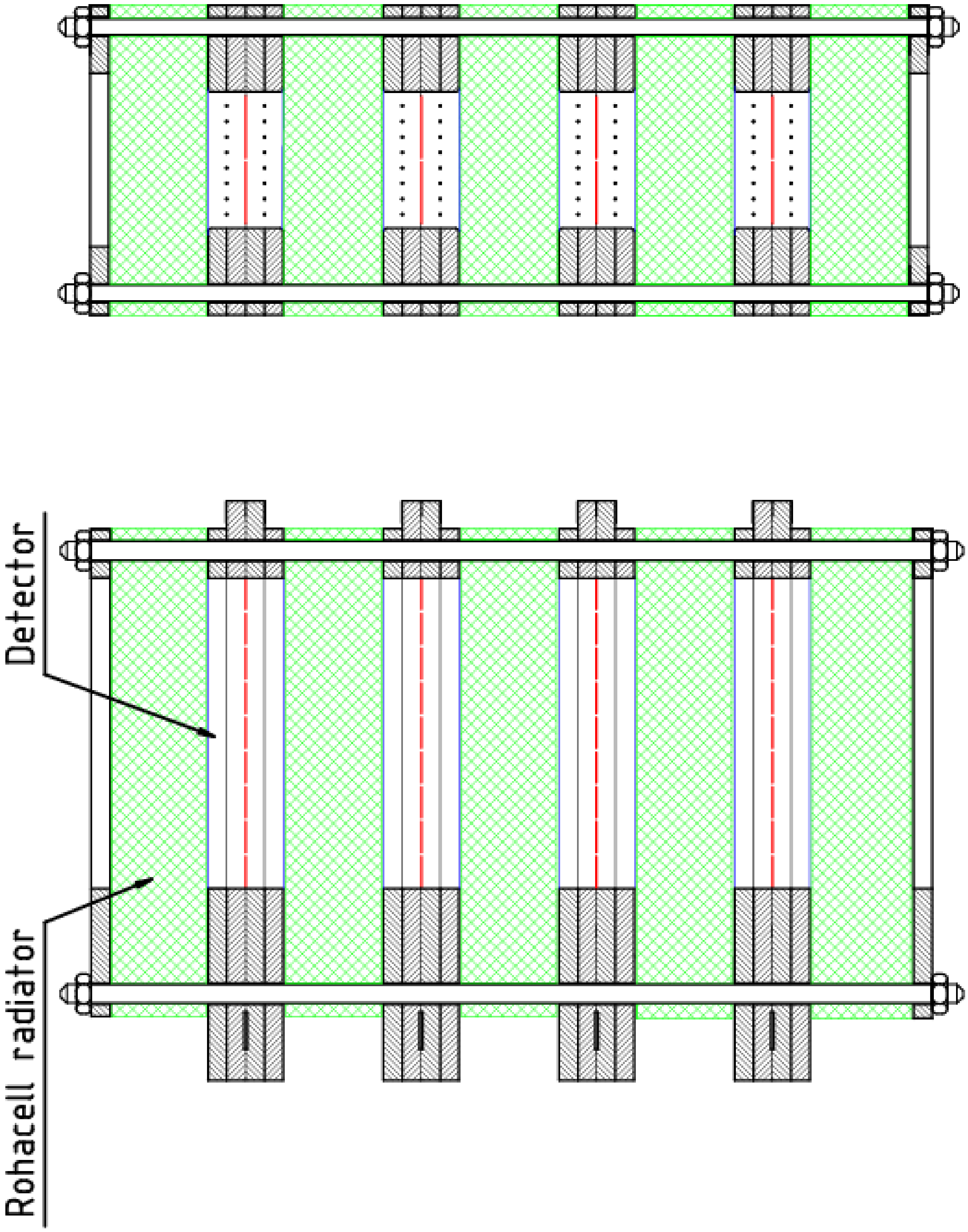


Figure 9:

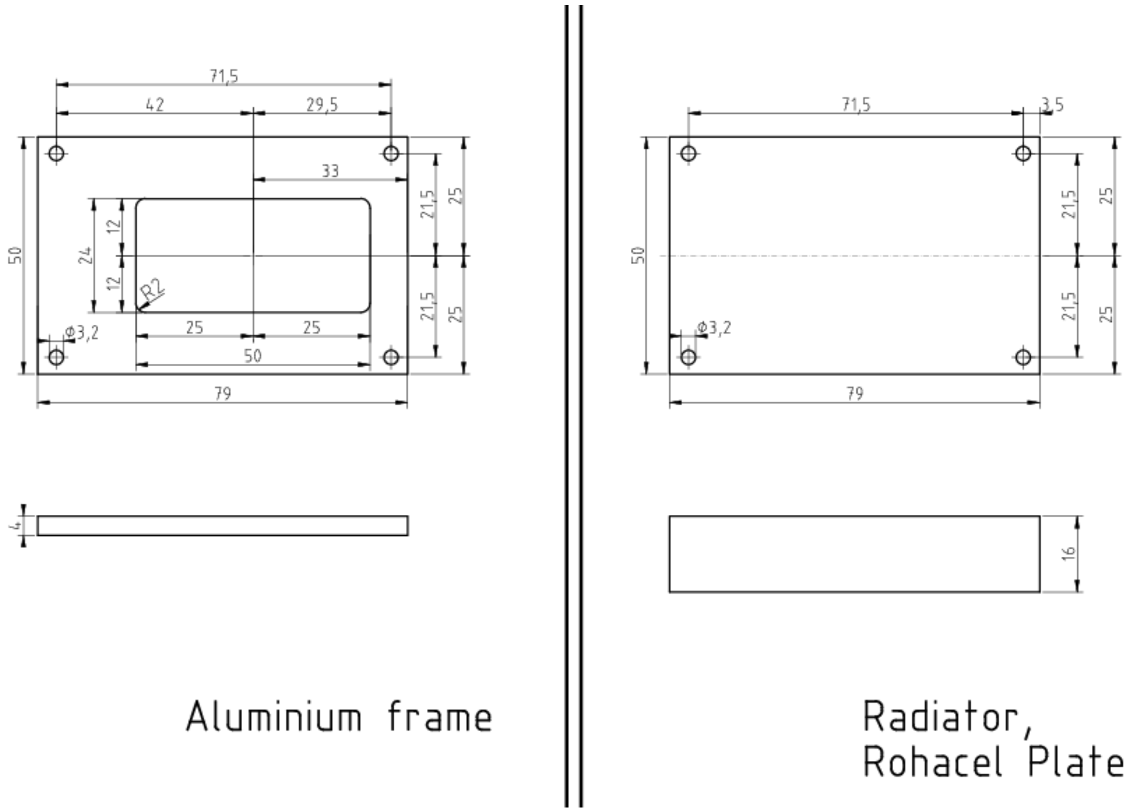


Figure 10:

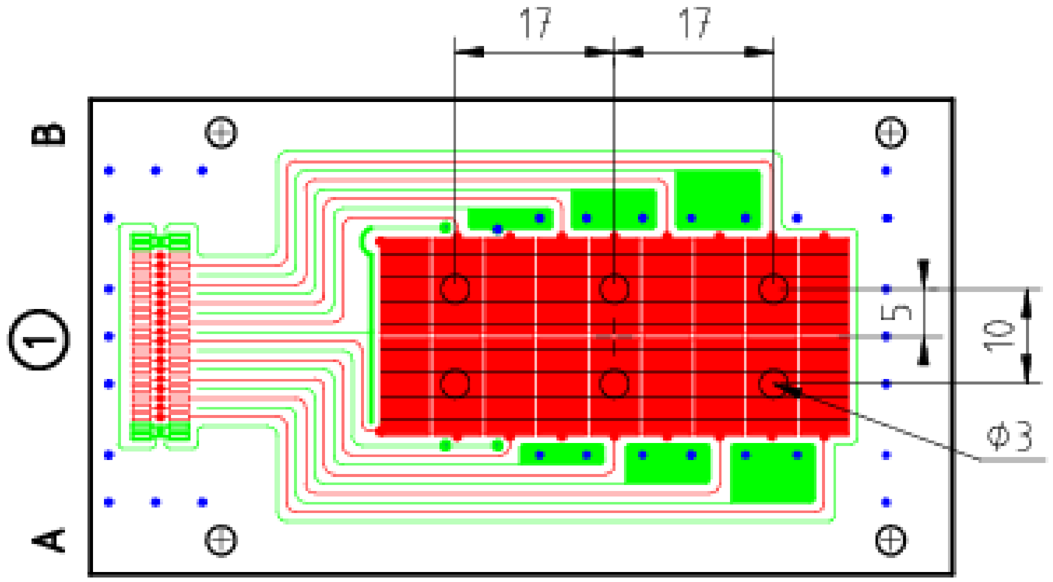


Figure 11: