



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Doktora Tezi

**CBM DENEYİNDEKİ ÇİFT TARAFLI SİLİKON MİKRO-ŞERİT
DEDEKTÖR SİSTEMİNİN KARAKTERİZASYONU**

Merve DOĞAN

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Ela GANİOĞLU NUTKU**

**II. DANIŞMAN
Dr. Christian J. SCHMIDT**

Eylül, 2019

İSTANBUL

Bu alışma, 20.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Ela GANİOĞLU NUTKUI(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Melahat BAYAR
Kocaeli Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Bayram DEMİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Arzu ÇİLLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca danışmanlığımı yürüten sevgili hocam Prof.Dr. Ela GANİOĞLU NUTKU'ya emekleri için çok teşekkür ederim. Ayrıca bu tezin çalışma ve yazım aşamasında bana destek olan arkadaşlarıma ve başta Prof. Dr. Baki AKKUŞ olmak üzere diğer hocalarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezi, bana en başından beri inanan, neler başarabileceğimi görmemde büyük katkısı olan, umutsuzluğa kapıldığımda bana hep cesaret veren, bilgisinden ve tecrübelerinden yararlanma şansına sahip olduğum çok değerli hocam Dr. Christian SCHMIDT'e ithaf ediyorum.

Eylül 2019

Merve DOĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. FAIR	1
1.2. CBM FİZİĞİ	2
1.3. DENEYSEL GÖZLEMLENEBİLİRLER	4
2. GENEL KISIMLAR.....	7
2.1. CBM DEDEKTÖRLERİ	7
2.2. SİLİKON İZLEME SİSTEMİ.....	11
2.2.1. Silikon Mikro-Şerit Dedektörler.....	14
2.2.1.1. Mikro-Şerit Silikon Dedektörün Fiziği	17
2.2.1.2. Enerji Rezolüsyonu	22
2.2.1.3. Dedektörlerin Elektriksel Kalite Ölçümleri.....	22
2.2.2. Mikro-Kablolar.....	24
2.2.3. Okuma Elektroniği	25
2.2.3.1. STS-XYTER ASICv2.....	25
2.2.3.2. FEB8 (Elektronik Kart)	29
2.2.4. Merdivenler	30
2.2.5. STS Sistemi için Prototip FEB8 ve PCB Tasarımları	31
2.2.6. Read-Out Sistemi.....	32
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	33
3.1. MİNİ CBM DENEYİ.....	33
3.1.1. Mini STS Sistemi	34
3.1.2. Mini STS için Dedektör Modülü	34
3.2. ELEKTRONİKLERİN YAPISI.....	36

3.3.	ELEKTRONİK TABLO VE SAYIM SİSTEMİ	36
3.4.	POGO-PİN İSTASYONU	37
3.5.	ÖLÇÜMLER.....	39
3.5.1.	Eşik Ayırıcı Sistemlerde Test Metodolojisi.....	40
3.5.1.1.	<i>Dahili Sinyal Kalibrasyonu</i>	43
3.5.1.2.	<i>STS-XYTERv2 ASIC Testi</i>	44
3.5.1.3.	<i>ASIC Kalibrasyonu</i>	47
3.6.	MİNİ CBM DENEY SETİ KURULUMU VE ÖLÇÜMLERİ.....	48
3.6.1.	Dedektör Modülünün Kurulumu	48
3.6.2.	Dedektör Modüllerinin Merdiven Üzerine Kurulumu	52
3.6.3.	Mini CBM Deneyi için STS-XYTER ASIC Testi	54
3.6.4.	Mini CBM Modülleri için Test Kutusu	57
3.6.5.	Sensör Modüllerinin Çalıştırılması.....	58
4.	BULGULAR.....	59
4.1.	STS-XYTERV2 ASIC TEST SONUÇLARI.....	59
4.2.	MİNİ STS MODÜL KURULUMU SIRASINDAKİ TEST SONUÇLARI.....	62
4.3.	STS-XYTER ASIC İLE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ	64
4.4.	MİNİ CBM DEDEKTÖR MODÜLLERİNİN TEST SONUÇLARI.....	66
4.5.	MİNİ CBM DENEYİ İÇİN İLK SONUÇLAR	70
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	73
	KAYNAKLAR.....	76
	ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: FAIR [2].	2
Şekil 1.2: Güçlü etkileşimli maddenin beklenen faz diyagramının şeması [6].	4
Şekil 2.1: CBM dedektör sistemi [6].	8
Şekil 2.2: CBM deneyi için iki demet borusu örneği.	10
Şekil 2.3: Silikon izleme sisteminin genel görünüşü.	11
Şekil 2.4: Silikon izleme sisteminin dipol magnet içindeki görünümü ve iç parçaları [23].	13
Şekil 2.5: Silikon şerit dedektörleri [28].	14
Şekil 2.6: CiS ve Hamamatsu dedektörlerinin üç boyutlu gösterimleri.	15
Şekil 2.7: (a) Hamamatsu (sol) ve CiS sensörünün (sağ) sensörünün p-tarafı (b) Hamamatsu ve CiS Sensörünün n-tarafı.	15
Şekil 2.8: Bir parçacık fiziği deneyinin bileşenleri [31].	18
Şekil 2.9: Çift taraflı silikon şerit dedektörlerinde parçacığın konumunun belirlenmesindeki belirsizlik [36].	19
Şekil 2.10: Çift taraflı şerit dedektörlerin çalışma prensibi [39].	20
Şekil 2.11: (a) DC ve (b) AC çiftlenimi.	21
Şekil 2.12: Bir CR-RC şekillendiriciyi takip eden ön yükselteç.	21
Şekil 2.13: Işınlanmamış ve ışınlanmış sensörler için besleme voltajının bir fonksiyonu olarak kaçak akım. Kaçak akım, iki ayrı sensörün tanımladığı gibi ışınlama yoluyla artmaktadır.	23
Şekil 2.14: Işınlanmamış ve ışınlanmış sensörler için besleme voltajının bir fonksiyonu olarak toplam kapasitans eğrisi. Toplam kapasitans, tam tükenme gerçekleştiği sürece yapılan ışınlamadan etkilenmez. Gözlenebilir farklılıklar, farklı sensörlere aittir.	23
Şekil 2.15: Bir CBM modülü için mikrokabloların katmanları [43].	24
Şekil 2.16: Çipe bağlanmış mikrokabloya bir örnek.	25
Şekil 2.17: STS/MUCH XYTERv2.	27

Şekil 2.18: STS/MUCH XYTERv2 konfigürasyon diyagramı.	28
Şekil 2.19: Sinyal mekanizması.	29
Şekil 2.20: “A” ve “B” versiyonlarıyla FEB8.	29
Şekil 2.21: STS modülleri için merdiven.	30
Şekil 2.22: Merdiven üzerinde dedektör modülü örneği.	30
Şekil 2.23: FEB-B ile 1 STS-XYTERv2 ASIC taşıyan bir test PCB'sine yerleştirilmiş bir silikon sensörünün resmi.	31
Şekil 2.24: STS read-out zinciri.	32
Şekil 3.1: Mini CBM dedektör sisteminin genel görünümü.	33
Şekil 3.2: Mini STS sistemi.	34
Şekil 3.3: Mini STS dedektör modülü.	35
Şekil 3.4: Mini STS dedektör modül bileşenleri.	35
Şekil 3.5: Detektör okuma sistemindeki elektronikler için bir örnek.	36
Şekil 3.6: Elektronik tablo ve sayım sistemi.	37
Şekil 3.7: Pogo-pin test istasyonunun eski versiyonu.	38
Şekil 3.8: Pogo-pin istasyonundaki iğnelerinin yakından görünümü. Bir iğne 100µm çapına sahiptir (sağ aşağıda görülmektedir). STS-XYTER ASIC üzerinde iğnelerin denk geldiği alanlar (sol aşağıda görülmektedir). Kare bölgelerde görülen izler iğnelerin çipler üzerine temas ettiğinin kanıtıdır.	38
Şekil 3.9: Pogo-pin test istasyonunun yeni versiyonu.	39
Şekil 3.10: Eşik ayarlarına bağlı olarak gürültü darbeleri.	40
Şekil 3.11: Gürültü ve sinyal hızının karşılaştırılması. Eşik ayarı sinyal darbelerini reddetmekle birlikte az miktarda gürültü darbesi eşiği aşmaktadır.	41
Şekil 3.12: Eşik seviyesine bağlı olarak ayırmacıdaki toplam sayım sayısı.	41
Şekil 3.13: (a) Farklı eşik değerleri için pulse kazanımları (b) Eşik taramasından elde edilen s-eğrisi.	42
Şekil 3.14: (a) Birkaç s-eğrisi (b) Kazanç karakteristiği.	43
Şekil 3.15: Dahili sinyal kalibrasyonu.	43
Şekil 3.16: STS-XYTER v2 çipinin silikon şerit sensörü ile ölçülen bir kanalında ²⁴¹ Am spektrumu.	44

Şekil 3.17: Çip test aşamaları.	46
Şekil 3.18: STS-XYTER ASIC ve numaralandırılması.	47
Şekil 3.19: Kalibrasyondan önce ve sonraki ADC değerleri.	47
Şekil 3.20: Kalibrasyondan önce ve sonraki “S-Eğrileri”.	48
Şekil 3.21: STS-XYTER çipine bağlanan kabloların yakından görünümü.	49
Şekil 3.22: Çipe bağlı olan kabloların diğer uçlarının dedektöre bağlanma işlemi.	49
Şekil 3.23: FEB’e bağlanmış bir çip.	50
Şekil 3.24: Glop-top işlemi.	50
Şekil 3.25: Çiplerin izolasyon yöntemi.	51
Şekil 3.26: Zırhlaması yapılmış STS modülü.	51
Şekil 3.27: Mini STS için merdiven örneği.	52
Şekil 3.28: Modüllerin merdivenlere hizalanması için tasarlanmış alet.	52
Şekil 3.29: STS modülünün hizalanması.	53
Şekil 3.30: İki mini STS modülü konulmuş merdiven örneği.	53
Şekil 3.31: GSI temiz odadaki ölçüm sistemi.	54
Şekil 3.32: ADC sayaçlarında okunan çipin gürültü dağılımı (a) iyi bir çip için sinyal dağılımı örneği (b) bağlantısı olmayan bir kanala sahip olan bir çip için sinyal dağılımı.	55
Şekil 3.33: STS-XYTER ASIC ve mikrokablo arasındaki bağlantı testi.	55
Şekil 3.34: STS-XYTER ASIC, mikrokablo ve dedektör arasındaki bağlantı testi.	56
Şekil 3.35: Bir modülün p ve n tarafındaki elektriksel bağlantı testi için bir örnek.	56
Şekil 3.36: Modül için test kutusu.	57
Şekil 3.37: Modül ile test kutusu.	58
Şekil 3.38: STS modül kurulumunun şematik görünümü.	58
Şekil 4.1: Elektron ve boşluk konfigürasyonu için ASIC test sonuçları.	59
Şekil 4.2: Problemlı çiplerin istatistikleri.	60
Şekil 4.3: STS-XYTERv2 ile test edilmiş prototip FEB-B için bir örnek.	61

Şekil 4.4: Elektron ve boşluk konfigürasyonu için ASIC test sonuçları.	63
Şekil 4.5: STS-XYTER ASIC için kritik bağlantı alanı.	64
Şekil 4.6: STS-XYTER ASIC için iki farklı gürültü yapısı.	65
Şekil 4.7: Üç farklı mikro kablo uzunluğuna sahip çipler.	65
Şekil 4.8: Üç farklı mikro kablo uzunluğu için gürültü sonuçları.	66
Şekil 4.9: Modül “02Tr” deki n and p tarafları için gürültü spektrumu.	67
Şekil 4.10: 1024 kanal için ADC kazanç dağılımı.	68
Şekil 4.11: 02Tr modülü için ADC kazancı.	68
Şekil 4.12: Modül “01Tr” deki n and p kısımları için gürültü spektrumu.....	69
Şekil 4.13: 1024 kanal için ADC kazanç dağılımı.	69
Şekil 4.14: 01Tr modülü için ADC kazancı.	69
Şekil 4.15: Deney alanındaki mini STS sistemi	70
Şekil 4.16: Kanallardaki sinyaller.	72
Şekil 4.17: Zamanla karşılık kanallardaki sinyal oranları.	72

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Sensörlerin teknik özellikleri.	16
Tablo 2.2: STS-XYTERv2 özellikleri.	26
Tablo 4.1: Elektronlar ve boşluklar için ADC aralığı ve kazanç sonuçları.	60
Tablo 4.2: FEB test istatistikleri.	61
Tablo 4.3: mini STS modülünün kurulumu sırasındaki ASIC testi sonuçları.	62
Tablo 4.4: Elektron ve boşluklar için ADC aralığı ve kazanç sonuçları.	63
Tablo 4.5: Modül test istatistikleri.	70
Tablo 4.6: Mini CBM deneyi sırasındaki çip fonksiyonları.	71

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	: Enjekte edilmiş nominal puls sayısı
c	: Sinyal genliğine tekabül eden s-eğrilerinin orta noktası
C_F	: Kapasitans
Dp/p	: Çözünürlük oranı
E	: Parçacık biriktirme enerjisi
E_{boşluk}	: Bir elektron-boşluk çifti oluşturmak için gereken bant aralığı enerjisi
E_g	: Malzemenin bant aralığı
F	: Fano faktör
GeV	: Kilo elektron volt cinsinden enerji birimi
GeV/c	: Momentum birimi
K	: Boltzmann sabiti
kW	: Kilo watt güç birimi
MeV	: Mega elektron volt cinsinden enerji birimi
MHz	: 10 Hertz frekans birimi
MJ	: Mega Joule enerji birimi
N	: Elektron deliği çiftlerinin sayısı
R_F	: Direnç
σ	: Rms gürültü voltajı
σE/E	: Enerji çözünürlüğü
T	: Sıcaklık
V	: Volt

Kisaltmalar	Açıklama
AC	: Alternatif Akım
ADC	: Analog-Dijital Çevirici (Analog-Digital Converter)
APPA	: Atomik, Plazma Fiziği ve Uygulamaları (Atomic, Plasma Physics and Applications program)
CBM	: Sıkıştırılmış Baryonik Madde

CF	: Karbon Fiber
CRI	: Ortak Okuma Arayüzü (Common Readout Interface)
CSA	: Yüke Duyarlı Yükselteç (Charge Sensitive Amplifier)
DAC	: Dijital-Analog Çevirici (Digital-Analog Converter)
DAQ	: Veri Toplama Sistemi (Data Acquisition System)
DC	: Doğru Akım
DPB	: Veri İşleme Kartı (Data Processing Board)
ECAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
ENC	: Eşdeğer Gürültü Yüğü (Equivalent Noise Charge)
FEB	: Elektronik Kart (Front-End Board)
FIFO	: İlk Giren İlk Çıkar (First in First Out)
FLES	: Birinci Seviye Olay Seçici (First Level Event Selector)
FPGA	: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array)
GBTX	: GigaBit Alıcı-Verici (GigaBitTransceiver)
GSI	: Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Ağır İyon Araştırmaları Merkezi, Darmstadt, Almanya
IC	: Entegre Devre
JINR	: Nükleer Araştırmalar Enstitüsü (Joint Institute for Nuclear Research)
QA	: Kalite Güvence (Quality Assurance)
QCD	: Kuantum Kromodinamiği
QGP	: Kuark-Gluon Plazması
MUCH	: Müon Sistemi
MVD	: Mikro Vertex Detector
NUSTAR	: Nükleer Yapı ve Reaksiyon Programı (NUclear Structure and Reactions Program)
PANDA	: Hadron yapısı ve Dinamikleri Programı (Hadron Structure and Dynamics Program)
PCB	: Baskılı Devre Kartı (Printed Circuit Board)
PSD	: Projectile Spectator Dedektörü
RICH	: Ring Imaging Cherenkov Detector
ROB	: Okuma Kartı (Read Out Board)
SIS100	: Yüksek Enerjili Ağır İyon Depolama Halkası (High Energy Heavy Ion Storage Ring)
STS	: Silikon İzleme Sistemi
STS-XYTER ASIC	: STS X ve Y koordinatlı, Zaman ve Enerji Okuma Çipi (STS X and Y coordinate, Time and Energy Readout Chip)

TOF : Uçuş Zamanı Sistemi
TRD : Transition Radiation Detector
UNILAC : Evrensel Doğrusal Hızlandırıcı (Universal Linear Accelerator)
VREF_P,N,T : Eşik Voltajı

ÖZET

DOKTORA TEZİ

CBM DENEYİNDEKİ ÇİFT TARAFLI SİLİKON MİKRO-ŞERİT DEDEKTÖR SİSTEMİNİN KARAKTERİZASYONU

Merve DOĞAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ela GANİOĞLU NUTKU

II. Danışman : Dr. Christian J. SCHMIDT

Sıkıştırılmış baryonik madde (CBM) deneyi evrenin ilk zamanlarındaki nükleer maddenin davranışını belirlemek için gerçekleştirilecek ve Antiproton ve İyon Araştırma Merkezindeki (FAIR) büyük deneylerden birisi olacaktır. Parçacıkların tipini, momentumu, enerjisini ve yüklerini belirlemek için çoklu dedektör sistemleri kullanılacaktır. Silikon İzleme Sistemi (STS), CBM deneyindeki yüklü parçacıkların momentum ve iz bilgilerini sağlayan anahtar dedektör sistemidir. STS-XYTER çip, elektronik parçalar arasında çift taraflı silikon mikro şerit dedektörlerinden okuma sağlamak için özel olarak kullanıldığından CBM sisteminin önemli bileşenlerinden birini oluşturur. Çipin temel işlevleri bir prototip pogo-pin istasyonu ile kontrol edilebilir. Bu tez çalışmasında STS sistemi için kullanılacak olan dedektör modüllerinin kurulumu, STS-XYTER çiplerinin kalite kontrol test aşamaları ve sonuçları yer almaktadır. Bu çalışmalar aynı zamanda yaklaşmakta olan mini CBM ve CBM deneyi için temel referans verilerinin elde edilmesini sağlayacaktır.

Eylül 2019, 95 sayfa.

Anahtar kelimeler: FAIR, CBM, Silikon İzleme Sistemi, STS-XYTER ASIC, Silikon Mikro-Şerit Dedektör

SUMMARY

Ph.D. THESIS

CHARACTERIZATION of DOUBLE SIDED SILICON MICRO-STRIP DETECTOR SYSTEM in CBM EXPERIMENT

Merve DOGAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. Ela GANIOGLU NUTKU

Co-Supervisor: Dr. Christian J. SCHMIDT

The compressed baryonic matter (CBM) experiment will examine the behaviour of nuclear matter in early universe and will be one of the major experiment in Facility for Antiproton and Ion Research Center (FAIR). In order to determine the type of the particles, momentum, energy and charges sub-detector systems will be used. The silicon Tracking System (STS) is the core detector system of the CBM experiment that provides momentum and tracking information of the charged particles. Among the electronic parts, the STS-XYTER ASIC constitutes one of the important component of the CBM environment since it is the dedicated electronic for the read-out from double sided silicon micro strip detectors. Therefore, basic ASIC functionalities enable to be checked with a prototype pogo-pin station. In this thesis, the assembly of the detector modules to be used in the STS system, the quality assurance test protocol and the results of the STS-XYTER ASIC will be given. Studies in this thesis will also constitute one of the fundamental values as a reference for the upcoming mini CBM and CBM experiment.

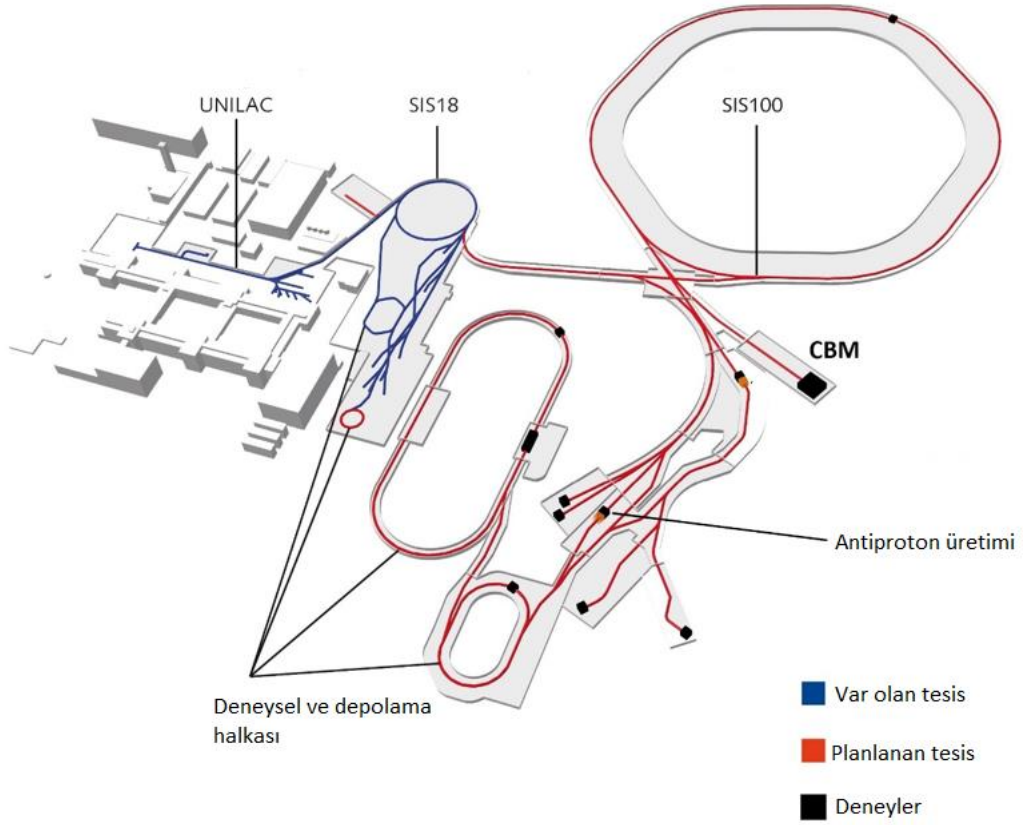
September 2019, 95 pages.

Keywords: FAIR, CBM, Silicon Tracking System, STS-XYTER ASIC, Silicon Micro-Strip Sensor

1. GİRİŞ

1.1.FAIR

Antiproton ve iyon araştırma merkezi (Facility for Antiproton and Proton Research, FAIR) Almanya, Darmstadt'ta kurulmakta olan en büyük araştırma merkezlerinden birisidir ve yüksek kalite ve yoğunlukta iyon ve antiproton demetleri sağlayacaktır ve bunun için SIS100 sinkrotronunu işleme koymayı planlamaktadır. Bu tesiste, iyonlar direkt olarak hedefe yönlendirilecek ve ayrıca radyoaktif iyonlar dahil ikincil demetler de üretilecektir. SIS100 hızlandırıcısına parçacıklar ilk olarak UNILAC hızlandırıcısı hızlandıracaktır. Hızlandırıcı ve sinkrotronlardan gelecek demetlerin yüksek yoğunlukta kullanılabilmesi için FAIR'in aynı anda beş farklı parçacık ışını oluşturacak şekilde ve aynı anda dört araştırma programını paralel olarak yürütülecek şekilde çok yönlü olması planlanmaktadır. Araştırma programları: Kararlılıktan uzak olan çekirdeklerin ayrıntılı çalışmaları için Nükleer Yapı ve Reaksiyon programı (NUSTAR), atomik yapıyı belirlemek için Atomik, Plazma Fiziği ve Uygulamaları (APPA), olağanüstü plazma, Kuantum Renk Dinamiği (QCD) faz diyagramını ve yüksek baryon yoğunluklarında kuvvetle etkileşime giren maddenin mikroskobik özelliklerini incelemek için Sıkıştırılmış Baryonik Madde deneyi (Compressed Baryonic Matter, CBM) ve son olarak hadronların ve maddenin egzotik durumlarının yapısı için hadron yapısı ve dinamikleri programıdır (PANDA) [1]. Şekil 1.1'de FAIR'in şematik gösterimi gösterilmektedir. FAIR'de yapılması planlanan sıkıştırılmış baryonik madde (CBM) deneyi, süpernova patlamalarında ve nötron yıldızlarında yüksek yoğunluktaki nükleer maddenin davranışını belirlemek için ağır çekirdekler arasındaki yüksek enerji çarpışmalarını inceleyecek olan en büyük deneylerden biri olacaktır. Bu gibi yüksek yoğunluklu durumlarda, proton ve nötronların bir kuark-gluon plazmasına ve diğer yoğun hallere dönüşmesi öngörülmektedir. Bu tür bir faz işlemi sadece FAIR hızlandırıcıları tarafından sağlanan çok yüksek enerjilerde gözlemlenebilir [2]. Bu tez çalışması kapsamında CBM Deneyinde kullanılmak üzere tasarlanan elektroniklerin kurulum ve test aşamaları verilecektir.



Şekil 1.1: FAIR [2].

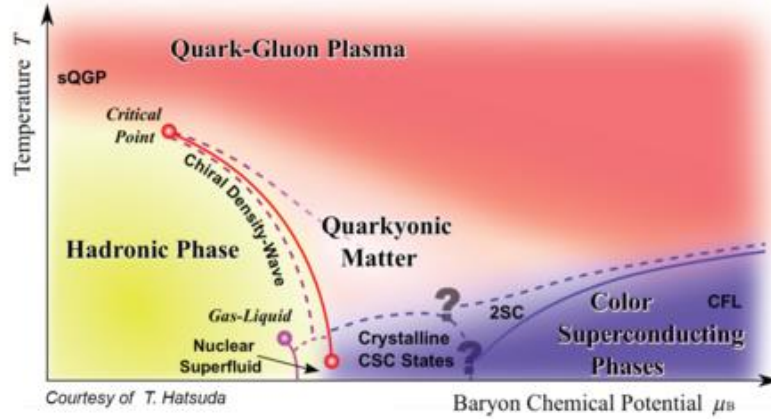
1.2.CBM FİZİĞİ

CBM (Compressed Baryonic Matter) deneyi, Darmstadt'taki FAIR'in gelecekteki en önemli deneylerinden birisi olacaktır. Bu deneyde, nadir olayları incelemeye izin verecek bir oran olan saniyede 10^7 'ye kadar olan yüksek nükleer etkileşim oranlarının kaydedilmesi öngörülmektedir [3]. Bu kadar yüksek oranlarda deneyler yapmak için çekirdeği yüksek enerjilere hızlandırabilen hızlandırıcılara ihtiyaç duyulur ve en verimli olanı da sinkrotrondur. Bu hızlandırıcı saniyede bir milyondan fazla devirde çalışabilir. İyonlaştırılmış parçacıklar, her turda değişen elektrik alanı sayesinde daha fazla enerji kazanır ve mıknatıslar bunları halka içindeki dairesel yörüngelerinde tutar. Amaçlanan ışın enerjisine ulaşıldığında da iyonlar uygun bir hedefe yönlendirilir [4].

FAIR merkezinde hadron fiziği için çalışan SIS100 sinkrotron hızlandırıcısı nötron yapısını ve çökmüş süpernova yıldızlarını incelemek için yüksek kalitedeki $Z/A = 0,5$ oranına sahip olan çekirdeklerin yanı sıra sırasıyla 89 GeV ve 35 AGeV değerine kadar olan birincil proton ve uranyum ışınlarını sağlar. Maddeyi SIS100 ile yaklaşık 35 GeV ve 11 AGeV'lik baryon

yoğunluklarında elde etmek mümkündür [5]. Sıkıştırılmış Baryonik Madde Deneyi'nin öncelikli amacı, SIS100'de üretilebilecek yüksek baryon yoğunluklarında kuvvetle etkileşime giren maddenin QCD faz diyagramını araştırmaktır. Bu amaçla, yüksek enerjili bir ağır iyon ışını bir hedef folyoya gönderilir. Bir çekirdek çarpışması, çarpışma dinamiklerinin incelenmesi ve kinetik parametrelerin belirlenmesi için laboratuvarında tanımlanabilen ve karakterize edilebilen ikincil parçacıkların oluşumuna yol açar. Tanımlanması gereken bu ikincil parçacıklar leptonlar ve hadronlardır. Olaylarda lepton çiftleri de dahil olmak üzere 10 MHz'e kadar reaksiyon hızında 1000 yüklü parçacık bulunur. Parçacık üretiminin ayrıntılı analizi, çarpışma sürecine ilişkin fikir verebilir. Normal şartlarda kuarklar tek başına gözlenemez. Gluonlar kuarkları bağlayarak hadronik durumları oluşturur. Fakat yüksek sıcaklık ve basınç değerlerine gidildiğinde bu hadronik yapı kuarklara ayrılır ve kuark-gluon plazması oluşur. Bu plazmanın incelenmesi Big Bang sonrasındaki evrenin yapısını anlamada büyük önem taşır. Kuarklar renk yükü taşıdıklarından gluonlarla aralarındaki etkileşim de renk yükleri sayesinde gerçekleşir ve bu renk dinamiği QCD faz diyagramlarıyla incelenir [4].

Düşük yoğunluklarda nükleonlar bir gaz gibi davranırlar. Yoğunluk ve sıcaklık arttıkça, nükleonlar daha sonra piyon ve nükleonlara dönüşen baryon rezonanslarına uyarılır. Hadronik madde; nükleonların, baryonik rezonansların ve mezonların karışımı olarak adlandırılır. Bu hadronik evre şekil 1.2' deki beyaz alan olarak görülebilir. Çok yüksek sıcaklıkta hadronlar erir ve bileşenleri olan kuarklar ve gluonlar, kuark-gluon plazması denilen bir faz oluşturur. Bu hadronik maddeden kuark-gluon maddesi aşamasına geçiş güneşin iç kısmından 130 bin kat daha sıcak olan yaklaşık 170 MeV sıcaklıkta meydana gelir. Büyük patlamadan sonra, bu koşullar evrenin ilk birkaç mikrosaniyesinde gerçekleşmiştir ve bu koşulların ağır iyon çarpışma deneylerinde çalışılması mümkündür [6]. Bununla birlikte CBM deneyi için yukarıda belirtilen durumlar iki şekilde özetlenebilir: Elektron, pozitron ve bu parçacıklara dallanma oranı olan yüklü hadronların belirlenmesi ve Çarmonyum da dahil olmak üzere vektör mezon bozunumundan gözlemlenen dimüon çiftlerinin ölçülmesi [7].



Şekil 1.2: Güçlü etkileşimli maddenin beklenen faz diyagramının şeması [6].

Bütün bunlara ek olarak, CBM deneyi aşağıdaki astrofiziksel soruları da ele alacaktır [4]:

- Nötron yıldızlarının içindeki çok büyük çekim kuvveti altında madde neye benziyor?
- Nükleonlar hala bulunuyor mu veya madde kuark maddelerine dönüşüyor mu?
- Bir nötron yıldızının toplam kütesini ne sınırlar?
- Bir süper nova çöküşü ve ardından yanmış yıldızın patlaması nasıl gelişir?
- Bu tür işlemler gezegen sistemimizde bulduğumuz elementlerin kompozisyonunu oluşturuyor mu?

CBM deneyi şu anda tasarım aşamasında olup prototip dedektörler test edilmektedir. Bir öncü deney olan mini CBM deneyi, dedektör sistemlerinin çalışma özelliklerini ve verilerin bir bilgi işlem merkezine taşınmasını test etmek için ilk verileri almaktadır. Deneyde gözlemleyeceğimiz temel parçacıklar hadronlar ve leptonlar olacaktır ve bu gözlemlenebilirler ayrıntılı olarak bir sonraki başlıkta verilmiştir.

1.3.DENEYSEL GÖZLEMLENEBİLİRLER

CBM Deneyindeki en büyük zorluk kiral simetride beklenen faz geçişlerini bulmaktır. Parçacıkların pariteleriyle ilgili olan simetriler onların etkileşimlerinin sınıflandırılmasını ve gruplandırmamızı sağlar. Kuarkların güçlü etkileşimdeki temel parçacıklar olması simetri

kurallarına dayanmaktadır. Bazı bağılı durumların, proton ve nötronların açıklanabilmesi için yukarı ve aşağı kuarkların bilinmesi yeterlidir. Bu kuarkların hafifliği kiral simetriye ulaşmada büyük rol oynar. Hadronların gözlemlenmesi de kiral simetri restorasyonunun başlangıcı için bir kanıt olabilir [4]. Kısa ömürlü vektör mezonların dilepton çiftlerine bozunması gözlemlenebildiğinden hadronlar doğrudan ölçülebilirler. Öte yandan, Kuark Gluon Plazmasındaki etkilerden dolayı oluşan çarmonyumdaki aşırı basıncın plazmanın deneysel gözlenebilirliğinin bir sinyali olduğu tahmin edilmektedir. Ağır kuarklar içeren parçacıklar çarpışmanın ilk aşamasında üretilir. FAIR merkezinde açıkça gözlenebilen ve gözlenemeyen çekici parçacıkların üretiminin araştırılması planlanmaktadır. D ve J/ψ mezonlarının üretim mekanizmalarının evrenin ilk oluşumundaki koşullara duyarlı olduğu düşünülmektedir [8]. Kimyasal donma olarak adlandırılan faz geçişi, yeni parçacık üretiminin olmadığı çarpışmadan sonraki son fazdır. Bu aşamadaki çalışmalar, gözlenebilirlerin ölçülmesine olanak sağlar. Diğer yandan, Λ , Ξ , Ω , J/ψ , D gibi ağır kuarklara sahip nadir süreçleri ölçerek ilk fazlar hakkında bazı bilgiler elde etmek mümkündür. Ayrıca, dileptonların kütle dağılımları, momentum değişiminin fonksiyonu olarak çok değişkenli gözlenebilirlerin ölçülmesi ve momentuma bağlı olarak ağır quarkları içeren kütle dağılımının ölçümü gibi bazı ölçümler yoluyla da evrenin ilk ve yoğun aşaması hakkında bilgi sağlanabilir. Koşullara bağılı olarak bu ölçümler hızlı algılama sistemleri gerektirmektedir [9].

Özet olarak deneydeki potansiyel gözlemlenebilirler aşağıdaki gibi sıralanabilir [10]:

- 1- yoğun baryonik maddede kiral simetri restorasyonunu sağlamak için e^-e^+ çiftlerine dönüşen düşük kütleli ρ , ω ve ϕ vektör mezonları
- 2- yüksek oranda sıkıştırılmış kuvvetli etkileşen maddenin özellikleri için çarmonyum ve D mezonları
- 3- Λ , Ξ , Ω parçacıkları. Çarpışmanın yoğun ve ilk aşamalarına duyarlı oldukları düşünülmektedir.
- 4- Kritik bir noktanın varlığına dair bilgi vaat eden gözlenebilirler
- 5- Yoğun ve sıcak ateş topundan çıkan termal fotonlar ve ilk çarpışmalardaki doğrudan ölçülen fotonlar

6- Pentakuarklar, bağı kaonik sistemler vb

Elektronlar, protonlar ve pozitronlar gibi parçacıklar yüksek enerjili deneyler için genellikle GeV aralığındaki enerjilere hızlandırılır ve birincil parçacıklara kıyasla daha kararlı olduklarından özellikle ikincil parçacıklar incelenir. Parçacıkların tipi, momentumu, enerjisi ve ayrıca yükleri bu etkileşimlerde tespit edilebilir değişkenlerdir. Bu tür değişkenleri tespit etmek için, her bir özellik için tasarlanmış alt dedektör sistemleri tek bir dedektöre kıyasla daha çok tercih edilir. Bu alt sistemler aşağıdaki gibi kısaca açıklanabilir:

- Bir parçacık yörüngesinin kaynağını ölçmek için, sistemde bir vertex dedektörü kullanılır ve ekstrapolasyon hatalarını azaltmak için etkileşim noktasına yakın olması gerekir
- Yüklü parçacıkların manyetik alandaki eğriliğini ölçmek ve parçacıkların momentumunu belirlemek için bir izleme istasyonu kullanılır
- Elektronların ve fotonların enerjisini ölçmek için, atom numarası yüksek bir malzemeye sahip elektromanyetik kalorimetreler gerekir. Hadronlar (protonlar, nötronlar, pilyonlar, kaonlar) elektromanyetik kalorimetreye nüfuz ederler ancak hadron kalorimetresinde etkileşirler [11].

Özetle, CBM deneyinin 2024 yılında yapılması planlanmaktadır. O tarihe kadar deneyin prototipi olan mini CBM deneyi üzerindeki çalışmalar devam edecek ve bu deneyde de elektronik ve dedektörler test edilecektir. Böylece asıl deney zamanı karşılaşılabilecek problemler hakkında bir ön bilgi edinilmiş olacak ve bunları iyileştirme yöntemleri üzerine odaklanılacaktır.

Bu tez çalışmasında temel olarak mini CBM deneyindeki Silikon İzleme Sistemi üzerindeki çalışmalar verilmiş olup sistemdeki dedektör modüllerinin kurulum ve test aşamaları ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

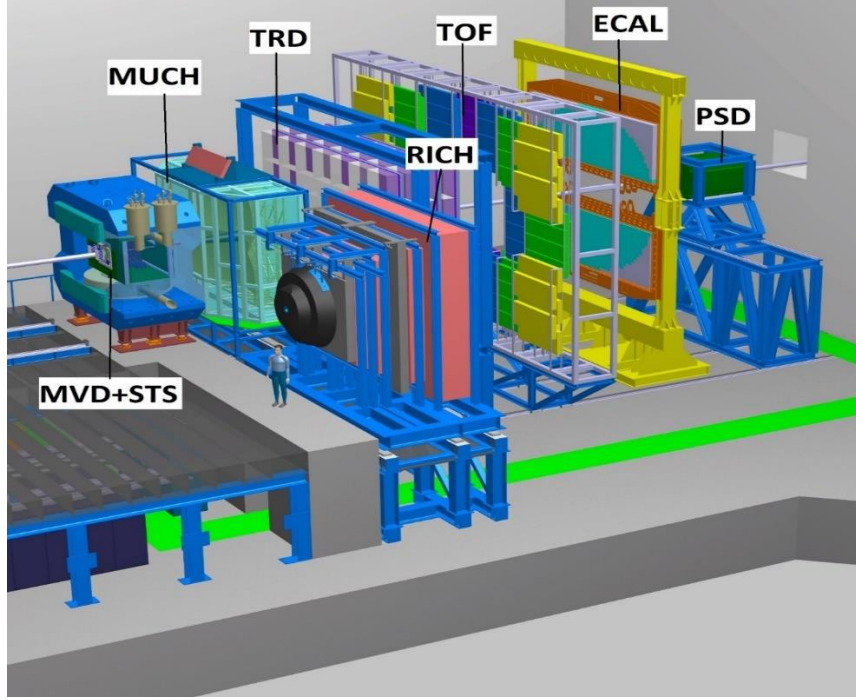
2.1.CBM DEDEKTÖRLERİ

Deneysel kurulum aşağıda listelenen gereklilikleri yerine getirmek üzerine tasarlanmıştır [10]:

- yüksek yoğunlukta ve büyük oranda yüklü parçacıkların tanımlanması
- elektronların 10^4 kadar yüksek bir pion bastırma faktörü ile tanımlanabilmesi
- yüksek oranda hadron tespiti
- dedektörler için yüksek taneciklilik
- hızlı okuma sistemi
- dedektör için düşük ölü zaman
- elektronik ve dedektörler için radyasyona dayanıklılık
- yüksek hızla veri toplama

CBM deneyindeki düzenek Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Dipol Magnet, Mikro Vertex Dedektörü (MVD), Silikon İzleme Sistemi (STS), Ring Imaging Cherenkov Dedektörü (RICH), Müon Sistemi (MUCH), Transition Radiation Dedektörü (TRD), Elektromanyetik Kalorimetre (ECAL) ve Projectile Spectator Dedektörü (PSD) sistemlerinden oluşmaktadır.

Dipol Magnet: Dipol magnet, ikincil parçacıklar hareket ederken dikey bir manyetik alan sağlamak için kullanılır. Silikon İzleme Sisteminin (STS) yerleştirildiği alan boyunca parçacıkların momentumunu belirlemeyi sağlar. Dikey olarak 1.44m ve yatay olarak 3m civarında bir boşluğa sahiptir. Demet yolu boyunca uzunluğu 5MJ'lik depolanmış bir enerji ile yaklaşık 1.5 m'dir. Mıknatıs tipi, H-tipli ılık demir boyunduruğu ve ayrıca silindirik süper iletken bobinden tasarlanmıştır. Hedef kısmından bakıldığında yerleştirme açısı sırasıyla dikey olarak $\pm 25^\circ$ ve yatay olarak $\pm 30^\circ$ 'dir. Dipol mıknatısında, çalışma akımı 686A paslanmaz çelikten yapılmış bobinlerde maksimum manyetik alan yaklaşık 3.9 T dır [12].



Şekil 2.1: CBM dedektör sistemi [6].

Mikro Vertex Dedektörü (MVD): MVD sistemi dielektron analizleri ve STS ile birlikte parçacık izlerinin tanımında kullanılacaktır. Daha iyi çözünürlük sağlamak için hedefe yakın şekilde yerleştirilmesi düşünülmektedir. Radyasyon dozuna bağlı olarak ilk sistemin açısı daha küçük olacaktır, ancak son iki MVD istasyonu STS de belirlenecek parçacıkların ayrımını geliştirmek için STS sistemine daha yakın şekilde yerleştirilecektir [13].

Ring Imaging Cherenkov Dedektörü (RICH): CBM deneyinde fizik analizinin iyonları ve elektronları ayırması zorunludur. RICH dedektörü bu amaçla CBM deneyinde tercih edilmektedir. Bu sistem, elektronların 8 ila 10 GeV/c enerjisi aralığına kadar tanımlanmasını sağlar. RICH dedektörünün, SIS100'deki düşük kütleli vektör mezonlarını ölçmek için Silikon İzleme Sisteminin arkasına yerleştirilmesi planlanmaktadır [14]. Sistem, 0 °C sıcaklıkta CO² gazı olan bir radyatör, iki foton dedektörü ve iki iç bükey ayna düzleminde oluşur [15].

Müon Sistemi (MUCH): MUCH, RICH dedektör düzleminde yerleştirilmesi planlanan müon konfigürasyonu için kullanılacak olan sistemdir. Hadronları durdurucu sistem aracılığıyla müon parçacıklarının izlerini belirlemede kullanılacaktır. Sistem silikon izleme sisteminin hizasında yerleştirilecektir ve sırasıyla 20 cm, 20 cm, 20 cm, 30 cm, 35 cm, 100 cm kalınlığındaki demir

plakalardan yapılan birkaç hadron emici tabaka arasındaki üçlü dedektör düzlemlerinden oluşmaktadır. Ek olarak üçlü dedektör sisteminde her demir düzlemin arkasında 15-18 civarı gaz odaları bulunmaktadır [16].

Transition Radiation Dedektörü (TRD): TRD sisteminin hem müon hem de elektron konfigürasyonlarının tanımlanması için kullanılması planlanmaktadır. Müon konfigürasyonu için, yaklaşık 600 m² alanda üç dedektör istasyonu olarak tasarlanmıştır ve parçacıkların dedektör hacmi içindeki enerji kaybı özelliklerini kullandığından sadece ek parçacık izleme düzlemleri olarak kullanılır. TRD sistemi için en önemli parametreler yüksek etkileşim hızlarında sabitlik, yüklü parçacıkların tanımlanması ve izlenmesi ve pion reddetme yeteneğidir [17].

Elektromanyetik Kalorimetre (ECAL): Elektromanyetik kalorimetre sisteminin fotonların ve fotonlara bozunan nötr mezonların ölçümü için kullanılması planlanmaktadır. ECAL Sistemi, 1 mm kurşun ve 1 mm sintilatörden oluşan 140 modül sandviç katmanı içerecektir. ECAL sisteminin boyutu 3 x 3 cm², 6 x 6 cm² ve 12 x 12 cm²'dir. Bu katmanların hedefe göre esnek bir pozisyon sağladığı düşünülmektedir [18].

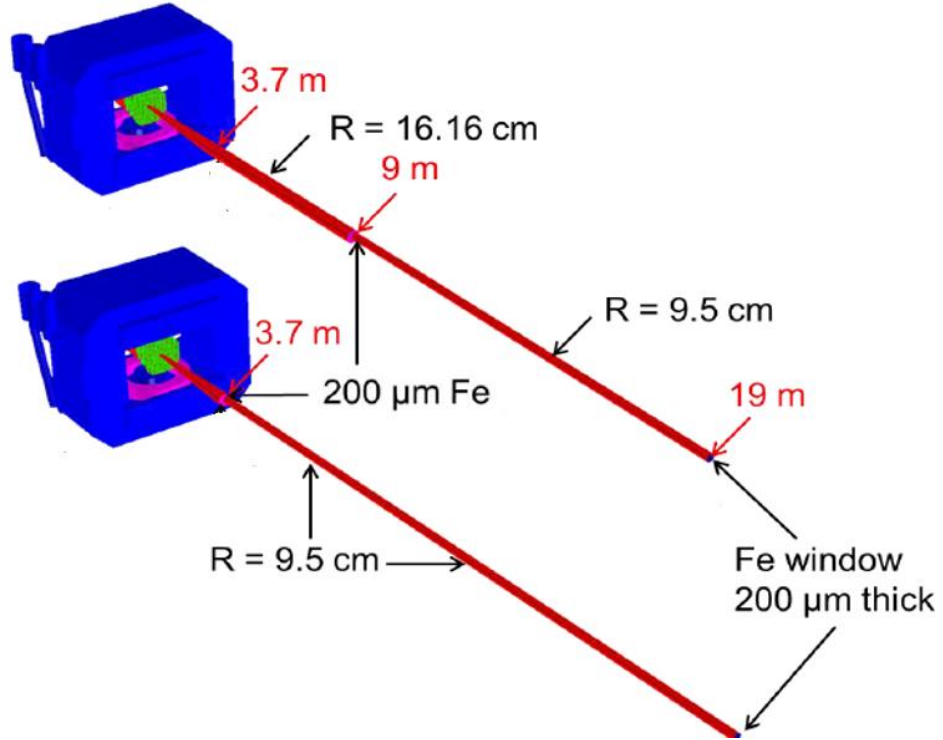
Projectile Spectator Dedektörü (PSD): PSD sistemi çarpışma merkezini ayarlamak ve enerji dağılımını ölçmek için tasarlanmıştır. Sistem yeterli enerji çözünürlüğü sağlayan kurşun sintilatör kalorimetresinden yapılmıştır. Çarpışma merkezini tahmin etmek için çarpışmaya katılan nükleonların sayısını belirlemek önemli bir konudur. PSD sisteminin hedef parçacıklarının enerjilerini kaybettiği büyük bir alanda 44 sistemden oluşması planlanmaktadır [19].

Uçuş Zamanı Sistemi (TOF): TOF sistemi, hadronları tanımlamada ikincil parçacıkların uçuş hızını ölçmek amacıyla kullanılması planlanmaktadır. Sistem çok boşluklu dirençli bir plaka odasından oluşur. 120m²'lik bir alanda ve 2,5⁰ - 25⁰ açılarını kapsayacak şekilde etkileşim noktasının 6m ile 10m arasında aşağısına yerleştirilecektir. Sistem için yaklaşık 80 ps çözünürlük gereklidir [20].

Demet Borusu: Vakumlu demet borusu, ağır iyon ışınını CBM sistemi boyunca yönlendirmek için kullanılır. Dayanıklı bir malzemeden yapılmıştır ve duvarlarını geçmeleri durumunda bile parçacıklarla çok az etkileşime girer. Birçok deneyde malzeme olarak çeper duvarının basıncına karşı dayanıklılığı ve kalınlığı nedeniyle çoğunlukla Berilyum kullanılmaktadır [21]. Demet

borusu 0,5 mm kalınlığa sahiptir ve sistem boyunca yerleştirilir. Ek olarak da demetin üst tarafındaki hedef çemberine bağlanır. Ayrıca STS duvarının aşağısında RICH veya MUCH dedektörleri ile bir bağlantıya da sahiptir [22].

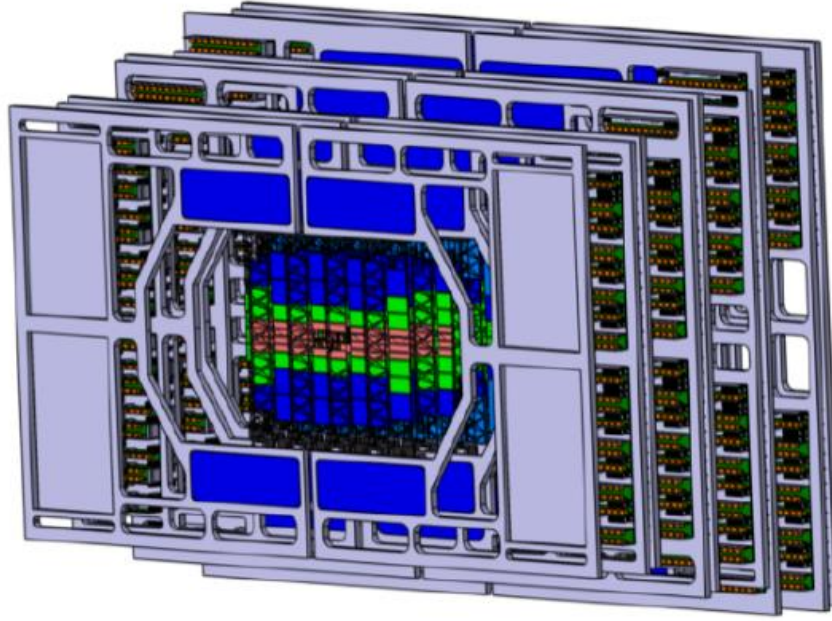
şekil 2.2’de gösterildiği gibi STS dipol magnetinden başlayan CBM demet borusu için FLUKA hesaplamaları ile iki tasarım geliştirilmiştir. Bu iki tasarım; STS, RICH ve MuCh boyunca aynı uzantıya sahiptir. Ayrıca Au demeti için 0,7 ila 1,8 derece açılarda demet borusunun bükölmesini sağlayan bir körük tasarlanmıştır. Tasarımların birinde, demet borusu PSD’nin girişine kadar 16,16 cm yarıçapa sahiptir, daha sonra yarıçap 9,5 cm kadar daralır. Demeti boru içinde ortalamak için dar olan boru, daha geniş olana kıyasla yatay olarak 5 cm kaydırılır. Diğer tasarımda ise, demet borusu 9,5 cm’lik sabit bir yarıçapa sahiptir. Bir sonraki adım olarak, demet borusu modellerinin, fazla radyasyonunun parçacık tanımlama performansı üzerindeki etkisini de inceleyebilmek adına fizik simölasyonlarında kullanılması planlanmaktadır [23].



şekil 2.2: CBM deneyi için iki demet borusu örneği.

2.2. SİLİKON İZLEME SİSTEMİ

STS (Silicon Tracking System) Sistemi, CBM deneyinde 10 AGeV enerjide Au+Au nükleer çarpışmalarında ortaya çıkan yüklü parçacıkların momentum ve iz bilgilerini sağlayan en önemli dedektör sistemidir. Şekil 2.3’de bu sistemin genel görünümü ve geometrisi verilmiştir. Bu sistem saniyede ortalama 5 milyar iz yaratarak 10 MHz’lik bir Au+Au nükleer çarpışma oranı için tasarlanmıştır. Momentum çözünürlüğü $Dp/p \approx \% 1.5$ olarak tasarlanmıştır ve bu çözünürlük 58 μm ’lik bir şerit aralığı ile elde edilir. Bu da yaklaşık 25 μm ’lik bir 1 sigma çözünürlüğü ile sonuçlanır. Bunlara ek olarak, sistem malzeme bütçesini en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır ve merdiven, sensör ve elektronik kartları içeren sekiz düzlemsel istasyona sahiptir. Sistem $2,5^\circ < \theta < 25^\circ$ arasındaki bir açıyla kurulur [24].

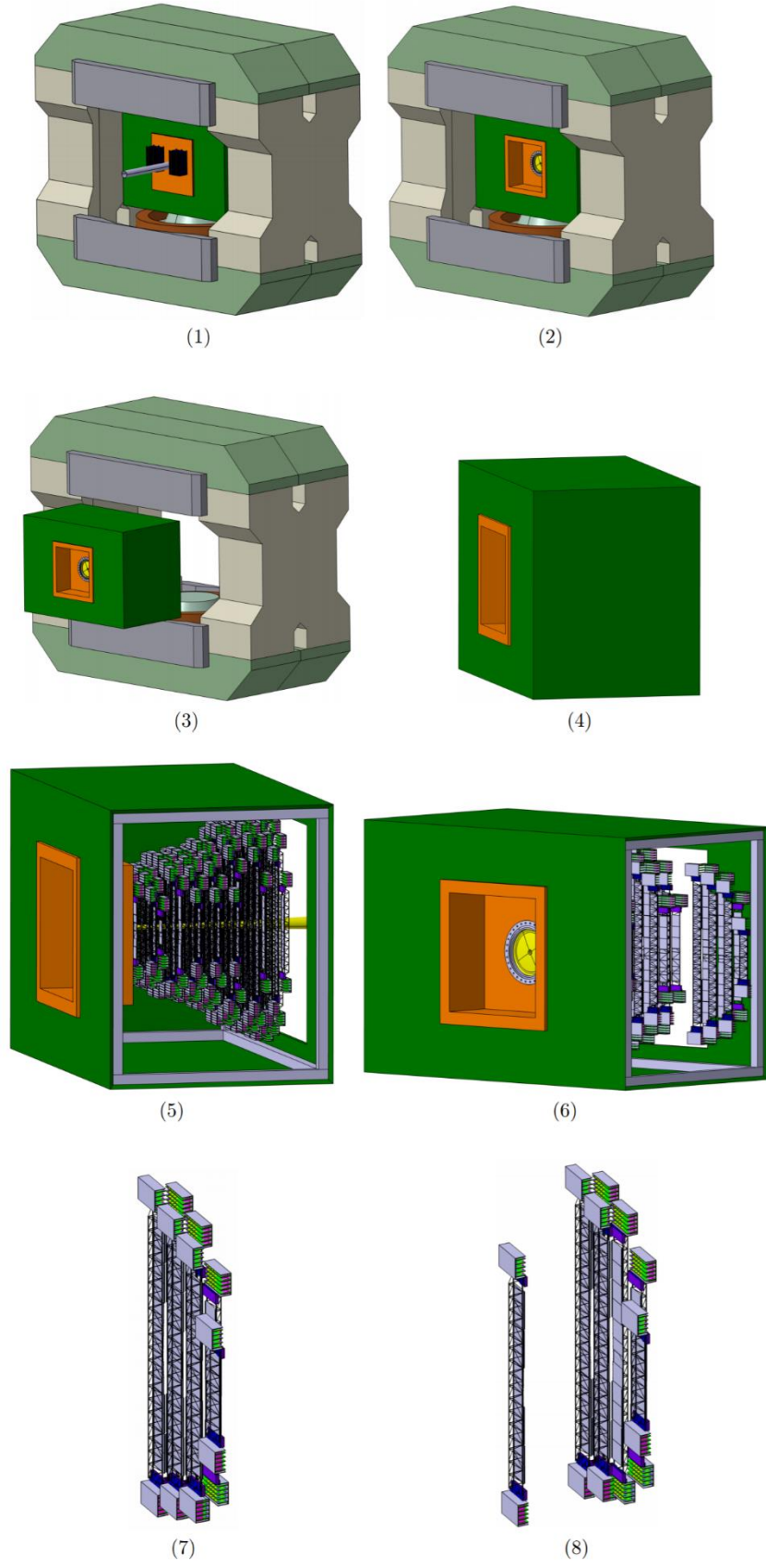


Şekil 2.3: Silikon izleme sisteminin genel görünüşü.

Silikon izleme sistemi 1T manyetik alandaki bir süper iletken dipol mıknatıs arasına yerleştirilir (Şekil 2.4). Sensörler için, farklı boyutlarda çift taraflı silikon sensör boyutları (2,2 / 4,2 / 6,2 / 12,4 cm uzunluğunda ve 6,2 cm genişliğinde) tercih edilir ve hepsi 1024 şerit içerir. En küçük boyutlu olanı tercihen en yüksek parçacık yoğunluğunun beklendiği demete yakın olan istasyonun iç kısmına yerleştirilir. Bu iç kısımda, en kısa sensör için bile şerit başına 250 kHz'e

kadar parçacık isabet oranı beklenmektedir. Sistemin dış kısmındaki dedektör açıları dahilinde, dedektörün yanal kısımlarında parçacıkların iz oranları yaklaşık % 1 seviyesine kadar düşer. İstasyonun dış kısmında, okuma kanallarının sayısını en düşük seviyede tutmak için 12 cm uzunluğundaki sensörler kullanılır [25].

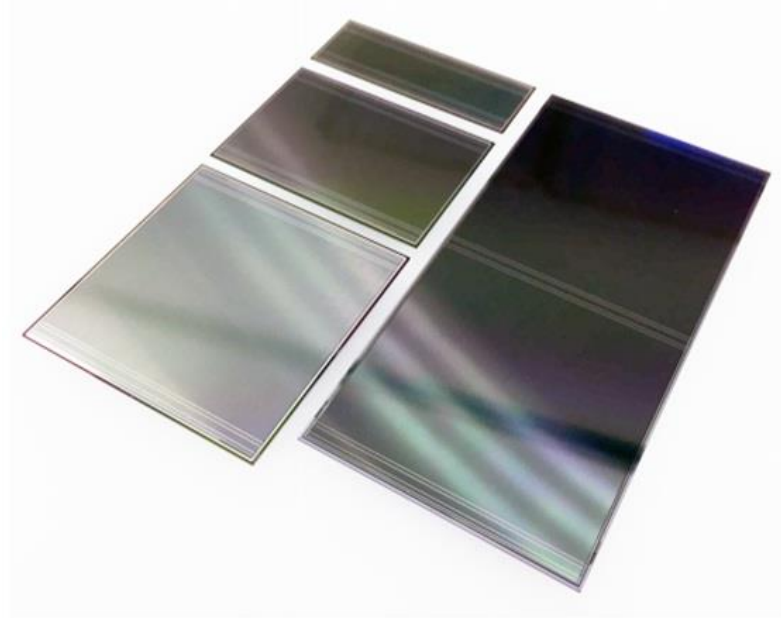
Malzeme bütçesini en aza indirmek için elektronik kartlar, mekanik ve soğutma altyapısı gibi STS bileşenleri, sistemin açısının dışına çıkarılması planlanmaktadır. İzleme istasyonlarını oluşturmak için STS sistemine 106 dedektör merdiveni ve bunların üzerine toplamda 896 dedektör modülü monte edilecektir. Bununla birlikte, kaçak akıma neden olan demet eksenindeki radyasyon etkisini azaltmak için sensörler -5°C sıcaklıkta ve 500 V değeriinde çalıştırılacaktır [22]. Bununla birlikte, deney sırasında soğutma kısmı ana parçalardan birini oluşturmaktadır. Elektroniklerin aşırı ısısından dolayı, sistemin iç kısmına yerleştirilen sensörlerin sıcaklığı 40 kW gücünde bir serbest gaz akışı kullanılarak -5°C 'nin altında veya bu değerde tutulmalıdır. CBM deneyi için soğutma sistemi CO_2 buharlaşmasına dayanır. Nemi atmosferden uzak tutmak için kapalı gaz sistemine azot eklenmelidir [21].



Şekil 2.4: Silikon izleme sisteminin dipol magnet içindeki görünümü ve iç parçaları [23].

2.2.1. Silikon Mikro-Şerit Dedektörler

Silikon İzleme Sisteminde iyi momentum çözünürlüğü ve parçacık tanımlamasında en iyi performansı sergilemeleri nedeniyle çift taraflı mikro şerit dedektörler tercih edilir. Dedektörler n tipi plakalardan üretilir ve 300 μm kalınlığa sahiptir. STS dedektör modülünde, farklı yüksekliklerde fakat aynı genişlikte dört tip sensör (genişlik 6,2 cm ve 2,2 cm, 4,2 cm, 6,2 cm ve 12,4 cm yükseklik) kullanılmaktadır. Yüksek parçacık oranları ile başa çıkabilmek ve hayalet çarpmalardan kaçınmak için n şeritleri 0° , p şeritleri ise 7.5° açıyla ve 58 μm aralıkla tasarlanmıştır [25, 26].

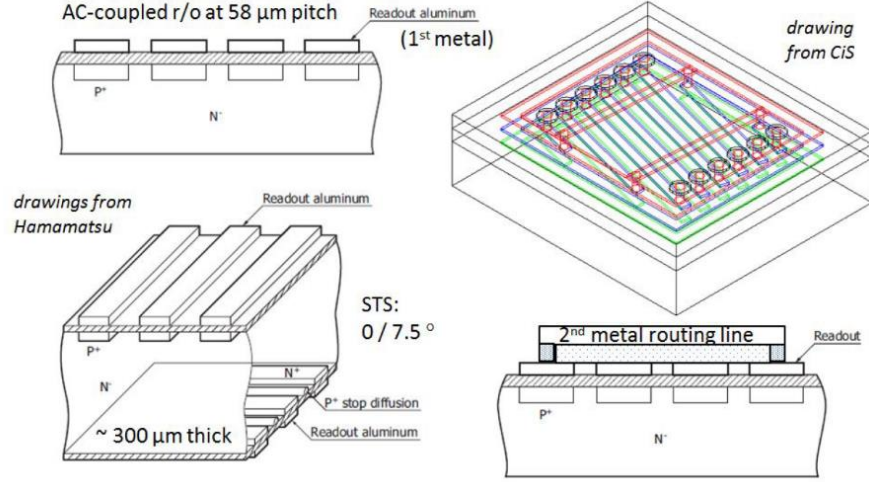


Şekil 2.5: Silikon şerit dedektörleri [28].

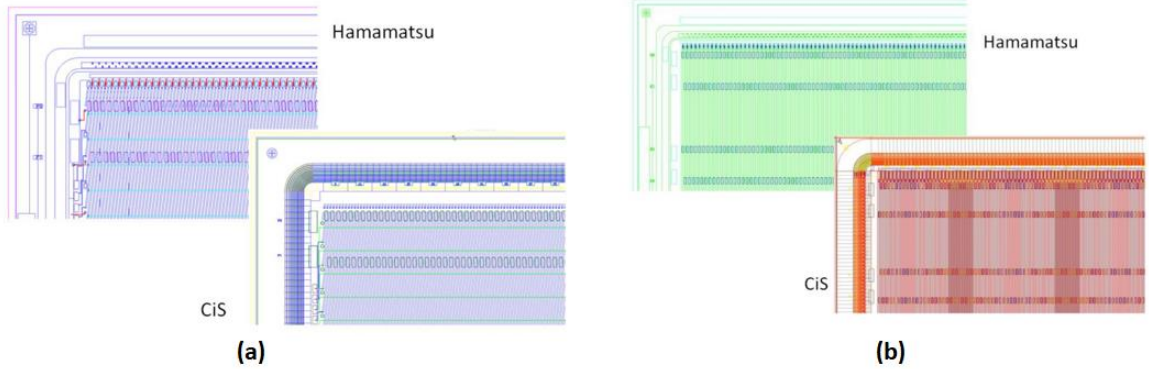
CBM06 isimli versiyon 2017'den bu yana CBM deneyi için dizayn edilen en son sensör tasarımıdır. Dedektörler, CiS Forschungszentrum für Mikrosensorik GmbH, Almanya [27] ve Hamamatsu Photonics K.K., Japonya [28] olmak üzere iki yerden sipariş edilmiştir.

İki koordinatlı uzamsal ölçüm yapmak amacıyla p ve n şeritleri $\Delta x = 58\mu\text{m}$ ve $\Delta y = 58\mu\text{m}/\tan(7.50) = 440.6\mu\text{m}$ boyutunda bir piksel ızgarası oluşturur. Bağlantı noktaları sinyallerin okunması için bu ızgara üzerine tasarlanmış ve dedektörün üst ve alt kenarlarında düzenlenmiştir. Bir besleme halkası şeritlere yakın olarak tasarlanmıştır ve köşelerde birkaç

besleme noktası sağlar. Ayrıca diğer noktalarda da hizalamayı sağlayan izler, çoklu koruma halkaları ve şerit numaraları bulunur. CiS ve Hamamatsu dedektörlerin Şekil 2.6 ve 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.6: CiS ve Hamamatsu dedektörlerinin üç boyutlu gösterimleri.



Şekil 2.7: (a) Hamamatsu (sol) ve CiS sensörünün (sağ) sensörünün p-tarafı (b) Hamamatsu ve CiS Sensörünün n-tarafı.

Hem CiS hem de Hamamatsu sensörleri dedektör modülü kurulumu ile uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. Bazı kalite testlerinden sonra CBM06 sensörlerinin yüksek okunabilirlikle üretilebileceği tahmin edilmiştir. Örneğin, test sonuçları p ve n taraflarının %0,3'ten daha az tek-şerit hasarı gösterdiği göstermiştir (CiS sensörü için sonuç 6,2 – 12,4 cm boyutlarındaki

eski prototipten alındı). Ayrıca şerit direnci, kapasitans ve besleme dirençleri de temel özelliklerle uyumludur [29]. Sensörlerin teknik özellikleri Tablo 2.1’de listelenmiştir.

Tablo 2.1: Sensörlerin teknik özellikleri.

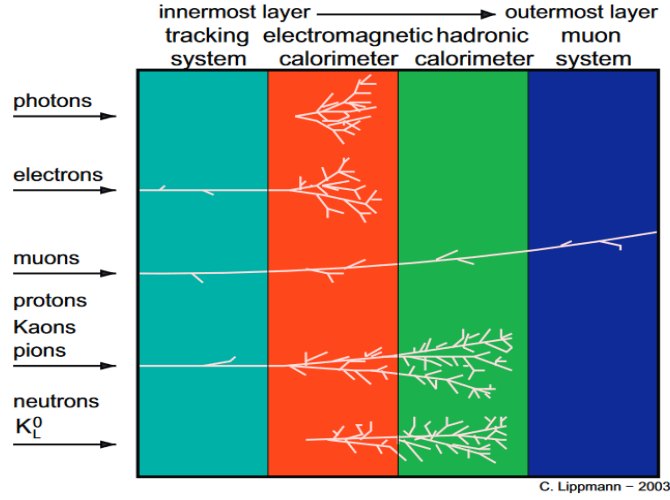
Elektriksel Özellikler	
Parametre	Değer
Ortam sıcaklığı	25C
Tüketim Voltajı	40-150V
Bozulma voltajı (küçük parça sensörde ölçülen)	>210 V
200V daki besleme halkasında veya 2x tam tüketim voltajında kaçak akım (küçük parça sensörde ölçülen)	1) 6.2x2.2cm: 1.5 μ A
	2) 6.2x4.2cm: 3 μ A
	3) 6.2x6.2cm: 4.5 μ A
	4) 6.2x12.4cm: 9 μ A
Her iki taraftaki kötü şerit sayısı	Maksimum 15
Poli silikon besleme dirençleri	Şerit başına 5M Ω
Şerit çiftleme kapasitansı	> 10 pf/cm
Şerit kapasitansı	<1.5 pf/cm
Genel Özellikler	
Parametre	Değer veya Açıklama
Yüzey tipi	n-tipi Si, öz direnç 2-8k Ω cm
Kalınlık	285-320 μ m $\pm$ 15 μ m (isteğe bağlı olarak 400 μ m)
Tip	CBM06
Boyutlar	1- 6.2 cm x 2.2 cm
	2- 6.2 cm x 4.2 cm
	3- 6.2 cm x 6.2 cm
	4- 6.2 cm x 12.4 cm
Bölümlendirme	Çift taraflı, p-şeritleri, n-şeritleri

Tablo 2.1 (devam): Sensörlerin teknik özellikleri.

Her taraftaki şerit sayısı	1024-n tarafı 1024-p tarafı + 42, 88, 134, 274 (değişkenlerin her biri için 1-4)
Şerit aralığı	58 μm
n-şerit izolasyon teknolojisi	p-spray/stop
Şerit açısı	n-tarafı 0 derece p-tarafı 7.5 derece
AC birleştirme pedleri	Her bir taraf için iki birleştirme sırasındaki AC pedleri 2x 512 AC; Ped büyüklüğü 60 μm -180 μm : Sensörün her bir tarafında ilave yedek bağlantı noktası; En büyük sensör (12 cm) ayrıca merkezi bağlantı sıralarına sahiptir. P-tarafı ve n-tarafı pedleri simetriyle aynı şekilde düzenlenmiştir
Besleme halkası	Çoklu besleme noktalarıyla birlikte sensörün aktif bölgesinin çevresinde
Besleme yapısı	Şerit başına 1 poli silikon direnç, R mümkün olduğunca büyük (5 M Ω); tanımlama için şerit başına 1 DC ped
Besleme ped boyutu	400 μm x150 μm
Koruma halkası	Çoklu koruma halkası
Hizalama noktaları	Köşe başına 1, orta kenar başına 3; 100 μm çapraz
Şerit sayısı	0-1023, birleştirme pedlerine yakın işaretlenmiş
Gerilme izleri	Seri numaralandırma için

2.2.1.1. Mikro-Şerit Silikon Dedektörün Fiziği

Manyetik alanda izleyici dedektör sistemi, yüklü leptonlar ve hadronlar gibi iyonlaştırıcı parçacıkları tespit etmeye ve izlerini ölçerek momentumlarını ve yük tiplerini belirlemeyi sağlar [30]. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi, her parçacık detektör sisteminde kendine özgü bir ize sahiptir.



Şekil 2.8: Bir parçacık fiziği deneyinin bileşenleri [31].

Silikon dedektörleri elektron-boşluk çifti oluşturmak için yaklaşık 3.6 eV'de bir bant aralığı ve tüketim bölgesi sağladıklarından yüksek enerji fiziğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu 3.6 eV enerjinin silikonun bant aralığı enerjisine olan farkı fononlar olarak yayılır. Ayrıca elektron-boşluk çiftlerinin ve fononların üretimi oluşturulan elektron-boşluk çiftlerinin istatistiksel varyansında bir düşüşe yol açar. Bu azalma faktörü fano faktörü olarak adlandırılır ve silikon için deneysel olarak yaklaşık 0,1 değerinde olduğu belirlenmiştir [32].

Parçacık izleyicide kullanılan sensör kalınlığı 100 ile 500 μm arasında değişmektedir. Sensörler; iyi enerji çözünürlüğü, radyasyona karşı dayanıklılık ve hızlı cevap verme gibi önemli avantajlara sahiptir.

Diğer yandan parçacık tespiti için başka özellikler de sağlanmalıdır. Elektron-boşluk çiftleri üretmek için toplam elektron-boşluk çifti sayısında daha az dalgalanma elde edildiğinden ortalama enerji için düşük değerler tercih edilir ve ek olarak 1000V.cm^{-1} civarındaki yüksek elektrik alanı nedeniyle oluşan kaçak akımın, gelen sinyalleri ölçmek için çok küçük olması gerekir [33].

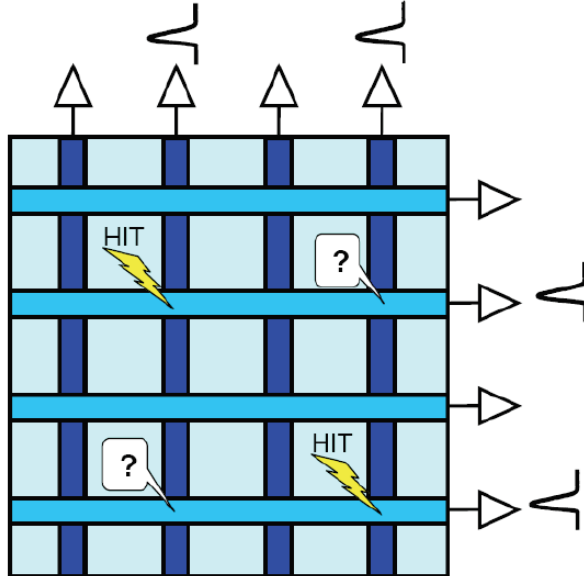
Detektör sisteminde, kaçak akım geri beslenmiş yarı iletkenle açığa çıkar ve gürültüye neden olur. Yarı iletkenlerin kaçak akımı aşağıdaki gibi verilebilir:

$$I_L \propto e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (2.1)$$

Eg, malzemenin bant aralığı, k boltzmann sabiti ve T sıcaklıktır. Ayrıca, kristalin içinde yoğun radyasyonun ortaya çıkmasından kaynaklanan tuzakların sayısı nedeniyle daha yüksek kaçak akım meydana gelebilir [34].

Gazlı dedektörlerle karşılaştırıldığında yüklü parçacığı silikondan izlemek yerine, silikon dedektör sistemlerinde izleri belirlemek için ayrı ayrı mm boyutlu şeritler kullanılır. İyi bir uzamsal çözünürlük elde etmek için dedektör modüllerinin olabildiğince küçük olması tercih edilir. Tipik 300 μm kalınlığındaki bir dedektör modülü için, yaklaşık 5 μm uzamsal çözünürlük gerekir. Daha fazla yükün toplanması için besleme voltajını artırmak gereklidir. 300 μm kalınlığında bir silikon dedektörü için boşluklar yaklaşık 25 ns'de toplanırken elektronlar yaklaşık 10ns süresinde toplanır [35].

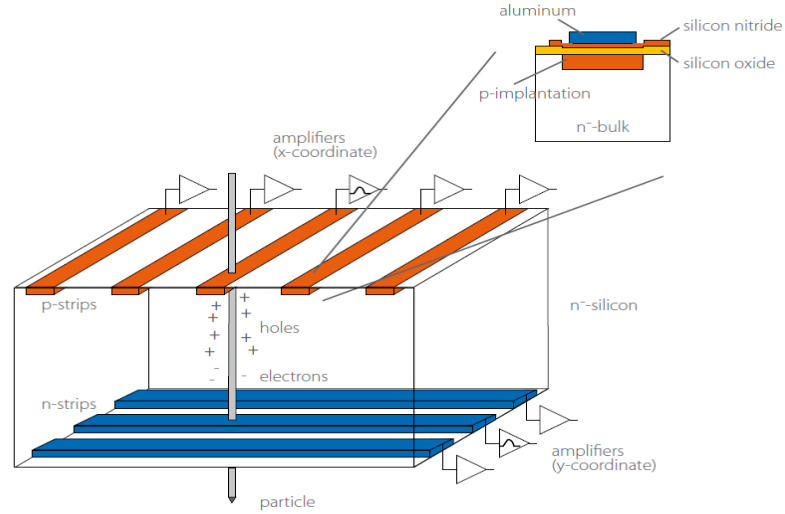
Bununla birlikte, iki boyutlu görüntüleme için çift taraflı silikon dedektörler en genel tercih edilenlerden birisidir. Şerit dedektörlerinde ikinci ortogonal şerit seti dedektörün arka tarafında yapılır ve iki foton, algılayıcıya aynı anda çarptığında, sinyaller üst ve alt şeritlerde çoğaltılır. Sonuç olarak iki gerçek isabet ve iki "hayalet" isabet parçacık tanımlanması sırasında belirlenir (Şekil 2.9). Hayalet vuruşların sayısını en aza indirmek için ise radyasyon yoğunluğunun sınırlandırılması veya hızlı bir sistemin kullanılması gerekir [36].



Şekil 2.9: Çift taraflı silikon şerit dedektörlerinde parçacığın konumunun belirlenmesindeki belirsizlik [36].

Detektör şeritleri yükleri toplamak için elektrotlar gibi davranır ve tek boyutlu diyotlar olarak tamamen tükenmiş silikon bir plakanın üzerine yerleştirilir. Her şerit bir yüke duyarlı yükseltece bağlanır. İki boyutlu pozisyonadaki ölçümler sensörün arka tarafını ayrıca şeritler ile yapılandırarak sağlanabilir. P-tipi ve n-tipi katkılı şeritler ortogonal olarak boşlukları ve elektronları toplayabilir. Silikon mikroşerit sensörler p-n eklemine içerir ve çalışma prensibi temel olarak iyonlaşmaya dayanır. Yüklü parçacıklar için bir boşluk oluşturmak üzere bağlantı noktalarına ters ön gerilim uygulanarak bir tüketim bölgesi oluşturulur. Yüklü parçacıkların enerjilerinin bir kısmı elektron-boşluk çiftlerine dönüşür. Elektronlar negatif yüke sahip ve pozitif elektroda hareket ederken, boşluklar negatif elektroda hareket eder. Sisteme uygulanan elektrik alanı elektron ve boşluk çiftlerinin yeniden birleşmesini önler [37].

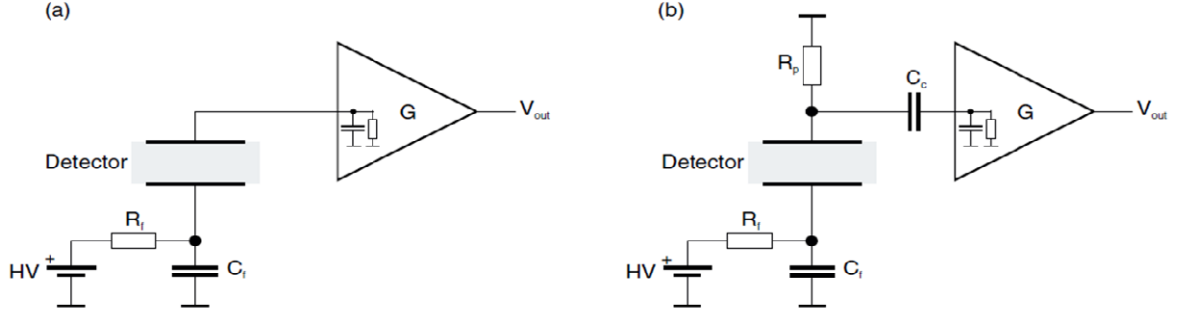
Bununla birlikte, minimum iyonize edici parçacık için sensördeki enerji kaybı 26 keV olarak tahmin edilmektedir ve tipik bir 300 mikron kalınlığında minimum iyonize edici bir parçacık tarafından biriken yük 22500 elektron-boşluk çifti veya 3,6 fC'dir [38].



Şekil 2.10: Çift taraflı serit dedektörlerin çalışma prensibi [39].

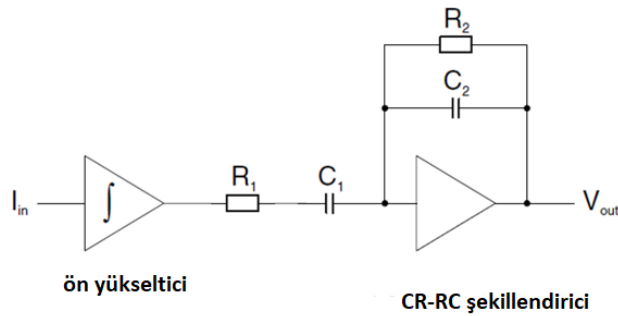
Silikon detektör konseptinde, sensörün her şeridi için şeritten yükselteç girişine doğrudan bir bağlantı sağlanarak bir okuma kanalı oluşturulur. Bu, DC çiftlenimi olduğu ve yükselteç şeride karşılık gelen dedektör kaçak akımının bir kısmını azaltmalıdır. Özellikle ışınlanmış dedektörlerde bu katkı sinyal akımından çok daha yüksektir. Mevcut silikon dedektörleri için DC kaçak akımı bir direnç üzerinden geçer ve sadece AC kısmını bir AC kondansatör üzerinden

AC çiftlenimiyle bağlar. Çünkü kaçak akım uygulanan besleme voltajı ve radyasyon hasarına bağlıdır ve böyle yüksek bir giriş akımı ileten yükselteç oluşturmak zordur. Ayrıca besleme voltajı genellikle bir RC filtresiyle ayrıştırılır.



Şekil 2.11: (a) DC ve (b) AC çiftlenimi.

Yüksek enerji fiziği deneylerinde çok sayıda kanal gerektiğinden ayrı bir yükseltici oluşturmak yerine yüksek entegrasyon sağlanmalıdır. Okumayı sağlayan elektronik çipler analog besleme güç kaynakları, ilişkili kontrol ağı ve bir entegre devre (IC) içine yerleştirilmiş çoklu çıkış aşaması gibi bazı fonksiyonları içerir. Yükseltici, düşük dirençli bir akım girişine sahiptir, çünkü yarı iletken bir detektör, akım sinyalinin yanı sıra besleme voltajına bağlı olarak bir akım sinyali de üretir. Bu nedenle toplanan yüke eşit olan entegre akımı ölçmek faydalıdır. Böylece yükselticinin ilk kısmı bir toplayıcı olur. Diğer yandan, gürültü yapısı nedeniyle gürültüyü azaltmak için yükseltecin devamında bir şekillendirici kullanılır ve şekil 2.12’de görüldüğü gibi bir CR-RC şekillendirme yöntemi kolay uygulama sağlamak için yarı Gaussian bir filtre sağlar [40].



Şekil 2.12: Bir CR-RC şekillendiriciyi takip eden ön yükselteç.

2.2.1.2. Enerji Rezolüsyonu

Bir elektronu iletim bandına göndermek ve bir elektron-boşluk çifti oluşturmak için gereken bant aralığı enerjisi $E_{boşluk}$ ise, bir parçacık biriktirme enerjisi E tarafından üretilen elektron delik çiftlerinin sayısı:

$$N = \frac{E}{E_{boşluk}} \quad (2.2)$$

Elektron-boşluk çiftlerinin sayısı için bir Poisson dağılımı varsayarsak, N 'nin kesirli varyansı aşağıdaki denklem gibidir:

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} \quad (2.3)$$

Gerçek sapma da elektronik uyarılardan etkilenir ve bu fano faktörü F olarak açıklanır;

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{\sqrt{FN}}{N} = \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{N}} \quad (2.4)$$

Ardından, enerji çözünürlüğü N yukarıdaki denklemden bulunabilir:

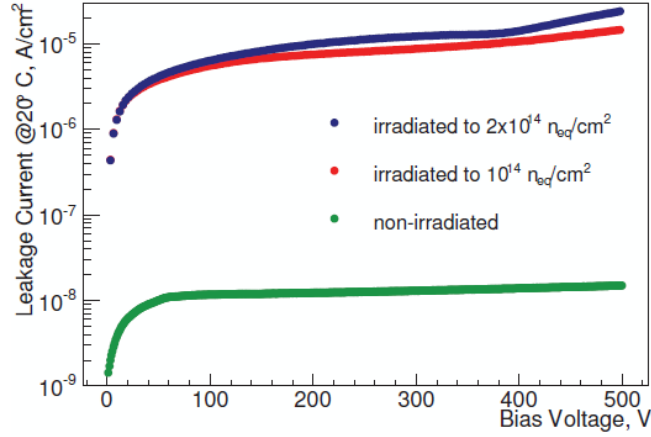
$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{\sqrt{FE_{boşluk}}}{\sqrt{E}} \quad (2.5)$$

$E_{boşluk}$, oda sıcaklığında 3.68 eV değerindedir. 1 MeV enerji yüklü parçacık, yaklaşık 272.000 elektron oluşturabilir ve $\sigma_E/E = \% 0.06$ civarında enerji çözünürlüğü verir [35].

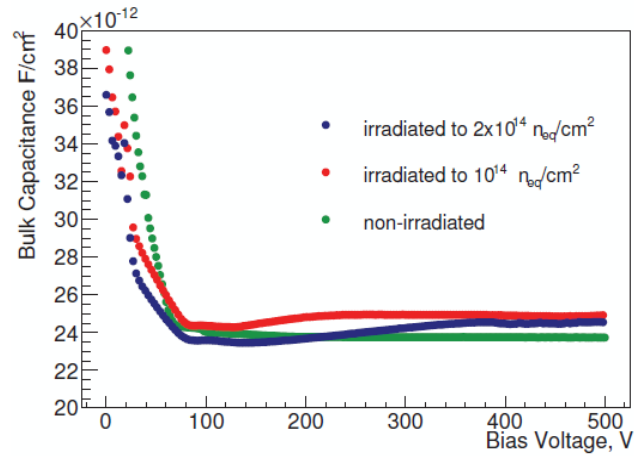
2.2.1.3. Dedektörlerin Elektriksel Kalite Ölçümleri

Sensör performansı ışın almadan önce ve sonra bazı ölçümlerle belirlenebileceği için test aşaması en önemli adımlardan birisidir. Bu amaçla GSI, Tübingen Üniversitesi ve JINR/Dubna'da elektriksel karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Elektriksel karakteristikleri belirlemek için kaçak akım ters besleme voltajının ve toplam kapasitansın bir fonksiyonu olarak ölçülmelidir. Şekil 2.13'de bu ölçümler için bir örnek ölçüm görülebilir. İki farklı dedektör için kaynak kullanmadan önce ve farklı ışınlama yoğunluğunda ölçümler alınmıştır. Ölçümler grafikte görüldüğü gibi 20 °C'de ölçülmüştür. Besleme voltajı arttırıldıkça kaçak akım oranı da artmaktadır ve dedektör doyum noktasına ulaştığında bu değer sabitlenir. Radyoaktif kaynak kullanılmadan yapılan ölçümde 100V sonrası kaçak akım değeri

sabitlenirken, ışınlanmış dedektörlerde 200-400V arası sabit kalırken diğer ölçüme oranla değişkenlik gösterir. Bu nedenle Şekil 2.14'de kaçak akım 1000 faktörü ile yükselirken ışınlamanın toplam kapasitansı etkilemediği de görülmektedir. Bu ölçümler sensörlerin tam tükenme ve bozulma voltajının belirlenmesine yardımcı olmaktadır [41].



Şekil 2.13: Işınlanmamış ve ışınlanmış sensörler için besleme voltajının bir fonksiyonu olarak kaçak akım. Kaçak akım, iki ayrı sensörün tanımladığı gibi ışınlama yoluyla artmaktadır.

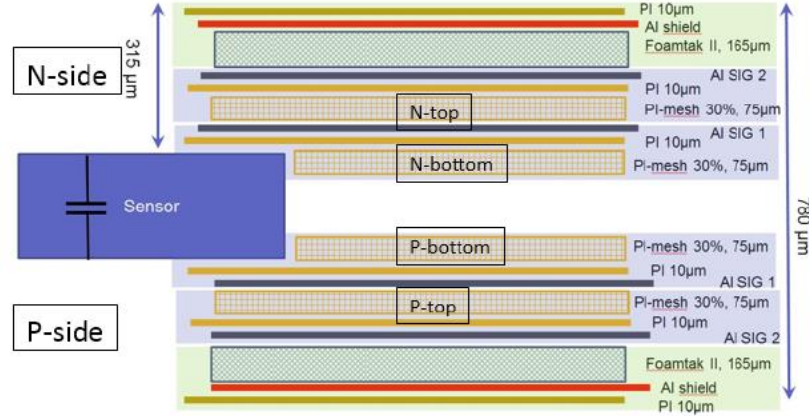


Şekil 2.14: Işınlanmamış ve ışınlanmış sensörler için besleme voltajının bir fonksiyonu olarak toplam kapasitans eğrisi. Toplam kapasitans, tam tükenme gerçekleştiği sürece yapılan ışınlamadan etkilenmez. Gözlenebilir farklılıklar, farklı sensörlere aittir.

2.2.2. Mikro-Kablolar

Mikrokablolar STS sistemindeki elektronikler ve sensörler arasında bağlantı sağlayan en önemli ve kilit unsurlardan birisidir. STS dedektör modülünde ve merdiven kurulum aşamasında uzunluğu 100 mm ile 500 mm arasında değişen toplam 32 bin mikrokablo kullanılacaktır. Kablolar bir grup analog sinyal kablosu, zırhlama levhaları ve iç içe geçmiş ara katmanlardan oluşur. 64 sinyal çizgisi içeren analog kablolar, alüminyum poliamid yapıştırıcılı dielektrik kullanılarak 14 μm kalınlığındaki alüminyum ile üretilir [42].

İletken katman alüminyum folyo ve yalıtkan malzeme bir poliamid filmidir. Ek olarak kapton da bazı bağlantı katmanlarındaki kabloların kapasitansını azaltmak için kullanılır. Diğer katmanlar daha sonra alüminyum tabakalara katılacak sıvı filmden oluşur. Bunlar iyi bir elektrik özelliği olan 3,5 civarında bir dielektrik sabiti ile radyasyona dayanıklıdır. Poliamid 10 μm ve alüminyum levha 14 μm kalınlığındadır. Ek olarak, metal iz 30 μm genişliğe sahiptir. Gürültü seviyesini en aza indirmek ve kablo yığınları arasında kısa devre yapmaması için harici zırhlama da uygulanır [21].



Şekil 2.15: Bir CBM modülü için mikrokabloların katmanları [43].

Mikro kablolar LTU firması tarafından GSI ve JINR kurumlarına test ve montaj için üretilip gönderilmektedir. Özellikle mini CBM kurulumu için STS dedektör modüllerinin montajı ve test aşamaları sırasında, mikro kablolar için çeşitli gereksinimler sonucu bazı uygulamalar geliştirilmiştir. Bunlar; çip zırhlama kabloları eklenmesi, yapıştırma alanındaki poliamid açıklığının 15 μm den 155 μm genişliğine artırılması, çalışma alanında analog mikro

kablolardaki iz genişliğinin 5 μm den 30 μm civarına azaltılması, yapıştırma alanındaki izlerin genişliğinin 3 μm den 45 μm 'ye arttırılması ve koruma katmanlarının uzunluğunun dedektörün kaplanmasına izin verecek şekilde arttırılmasıdır. Bu gereksinimlerin bir sonucu olarak, 13 adet kablo seti için bazı modifikasyonların özellikle yapıştırma alanlarında yapılması planlanmaktadır. Bu mikro kablolar, mSTS dedektör modülleri için kullanılacak ve kablo üretiminde nihai verim üzerindeki hammaddenin etkisini tahmin etmek için farklı üreticilerin hammaddesi kullanılarak 5-10 adet ekstra kablo seti üretilcektir [44].



Şekil 2.16: Çipe bağlanmış mikrokabloya bir örnek.

2.2.3. Okuma Elektronik

2.2.3.1. STS-XYTER ASICv2

STS-XYTER [STS X and Y coordinate, Time and Energy Readout chip] çipi, CBM deneyindeki çift taraflı silikon mikro şerit dedektöründen sinyal algılamının sağlanması için tasarlanmıştır (Şekil 2.17). ASIC, kanallarındaki her bir sinyal için hem zaman hem de enerji bilgisi sağlar. Bununla birlikte 128 okuma kanalı ve 2 test kanalı içerir [21]. STS-XYTER çipin boyutu 10mm x 6.77mm'dir ve Pogo pin testlerinin yanı sıra elektronik kartlara yapıştırılmaları için 288 özel ped içerir [45]. STS-XYTER ASIC'in başlıca özellikleri sırasıyla: 0-12 fC dinamik aralık, kanal başına maksimum 10 mW güç ve radyasyona dayanıklı tasarım olarak sıralanabilir. Bu özelliklere ek olarak çiplere pogo pin testli uygulanabilir ve bu testlerle kalibrasyon verileri elde edilebilir [46]. ASIC özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

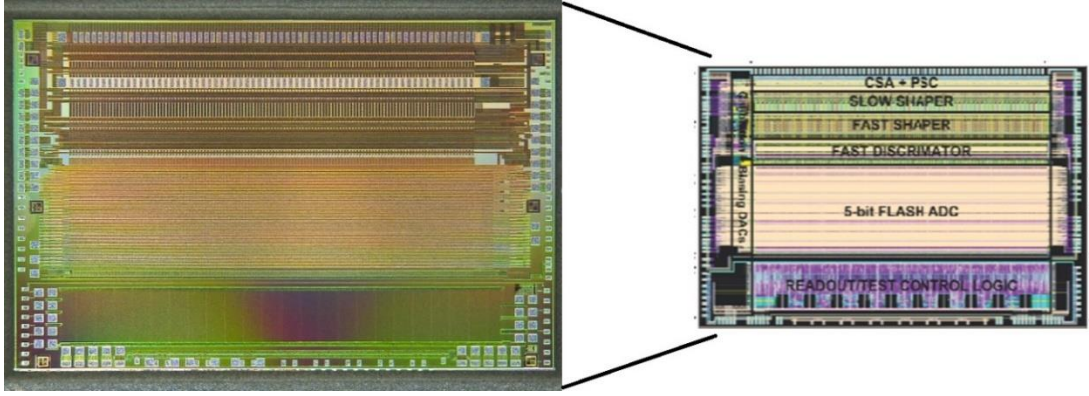
Tablo 2.2: STS-XYTERv2 özellikleri.

STS-SYTER	
128+2 test kanalı	5-bit flaş ADC
Negatif ve pozitif polarite	Düşük gürültü ($ENC < 1000e^-$ rms at $C_{DET}=30pF$)
58 μm kanal aralığı	Düşük güç tüketimi ($< 10mW/channel$)
20 kGy değerine kadar radyasyona dayanıklılık	Bir kalibrasyon birimi
300 μm kalınlık	15 fC dinamik aralık
Zaman çözünürlüğü < 5 ns	Hit oranı/kanal: ortalama 250 kHz
Yüke duyarlı yükselteç	Boyut: 10mm x 6.77mm
Fast path:	Slow path:
CR-RC şekillendirici, pik zamanı $t_p = 30$ ns	CR-(RC) ² şekillendirici, pik zamanı $t_p = 80$ ns

ASIC'ler, dedektör şeritleri ile ön yükselticinin arasına bağlanan mikro kabloların ucuna yerleştirilir. Yüke duyarlı bir yükselteç (CSA), şekillendiriciler ve bir flaş ADC içeren 128 kanala sahiptir [21]. Yüke Duyarlı Yükseltici (CSA) STS koşulları için uygun kazanç ayarları ve düzeltme elde etmek için kullanılır [47]. Bu kısımda sinyaller, yükseltici girişine yük ile orantılı bir çıkış üretmek için birleştirilir [48]. Tasarımları, sinyal olayı sırasında dedektörden gelen toplam yük ile orantılı bir çıktı, stabilite ve düşük gürültü sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu nedenle tercihen tek tek belirlenmek istenen sinyallerin yüksek hassasiyetle ölçülmesi gereken radyasyon ölçüm sistemlerinde kullanılır [49]. Güç tüketimi, zamanlama özellikleri ve ölçüm çözünürlüğü üzerinde büyük etkisi vardır. Ayrıca, yük işlemi sırasında elektronlar ve boşluklar farklı sinyal kutuplarına sahiptir. Elektronlar pozitif iken boşluklar negatif kutuplara

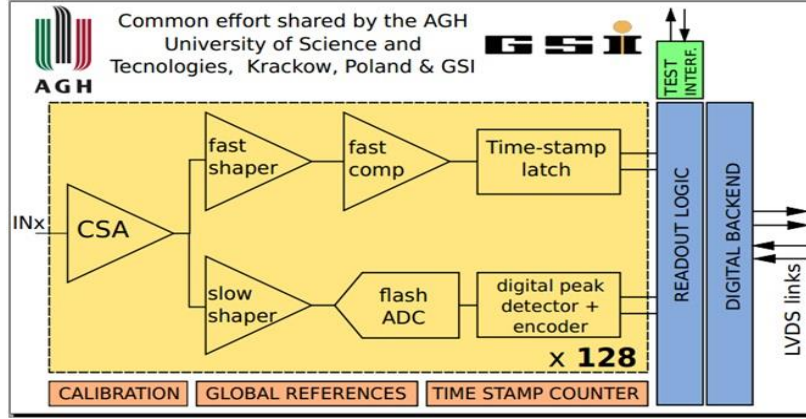
sahiptir. Mevcut voltajı değerlendirmek ve polariteyi eşitlemek için elektronlardan gelen sinyallerin şekillendiricilere aktarılmadan önce ters çevrilmesi gerekir [50].

CSA, maksimum sinyal oranını elde etmek için bir sinyal gerdirici çıkış sinyali, bir direnç (R_F) ve kapasitans (C_F) ile tetiklenen bir sıfırlama devresinden oluşur. Sinyal gerici CSA'nin sıfırlama kontrol sinyalinin genişliğini ve uzunluğunu düzenler ve ayrıca ayırıcı çıkış sinyali tarafından tetiklenir [51].



Şekil 2.17: STS/MUCH XYTERv2.

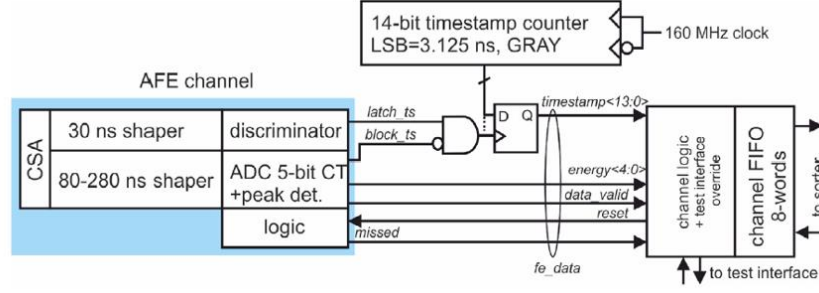
Şekillendirici yavaş ve hızlı bir şekillendirici içerir. Hızlı şekillendirici, 5ns çözünürlükte ve 30ns pik süresiyle zaman ölçümü sağlarken, yavaş şekillendirici 5 bitlik bir flaş ADC'de 80ns gibi pikleme süresinde ve düşük bir gürültü ölçümüyle depolanan yük sinyalinin daha iyi ölçülmesini sağlar. Çipteki tüm kanallar yük işlemi sırasında iyi bir genlik çözünürlüğü elde etmek için yavaş ve hızlı şekillendirici devresine sahiptir ve $CR-(RC)^n$ şekillendiricileri daha az karmaşık bir özelliğe sahip oldukları için tercih edilmektedir. Ayrıca bu şekillendiriciler diğer şekillendiricilere göre daha düşük silikon alanı işgal etmeleriyle karakterize edilir. Bununla birlikte, CSA devresinde, CSA ve şekillendirme çıkış voltajları, sinyaller geldikten sonra kısa sürede temel potansiyellere geri döner [52].



Şekil 2.18: STS/MUCH XYTERv2 konfigürasyon diyagramı.

Yavaş şekillendiricideki 5 bitlik flaş ADC 31 ayırıcı içerir ve her bir ayırıcının çıktısı, ofset düzeltme işlemini (Şekil 2.18) basitleştirmek için 8-bit eş zaman düzenlemeli eşik voltajları "VREF_P" ve "VREF_N" ile kullanılan bir sayaca bağlanır. Bu potansiyeller DAC'lar tarafından kontrol edilen iki referans potansiyeldir ve ortak ve küresel değerler bu potansiyeller arasında uzanan bir direnç merdiveni ile oluşturulmuştur. Bununla birlikte başka bir referans gerilimi olan "VREF_T", ADC' nin etkin eşliğini kontrol eder ve kalibrasyonun önünü açar.

Yavaş şekillendiriciden gelen bir sinyal, birkaç on ns'den sonra yavaş ayırıcıdaki ADC'nin ilk ayırıcı eşliğinden geçince, block_ts sinyali zaman damgası kilitlenmesini engeller. Birkaç yüz nano saniyede sinyal en üst noktaya ulaşır ve taban çizgisine geri döner. Bu nedenle pik dedektörü yavaş şekillendirici çıkışının maksimum değerini 5 bit olarak tutar. Sinyal en düşük eşik ayırıcının altına düştüğünde, data_valid bayrağı belirginleşir ve sinyal verileri daha sonra 8-kelimelik kanal olan FIFO'ya yazılır. Ardından sinyaller kanal mantığındaki saat ile senkronize edilir. Son adım olarak ise kanal engellenmemişse veya FIFO kanalı dolu değilse, sinyal FIFO'ya yazılır ve işlem tamamlandığında kanal sıfırlanır. Böylece kanal bir sonraki sinyal için hazır olur (şekil 2.19) [53].

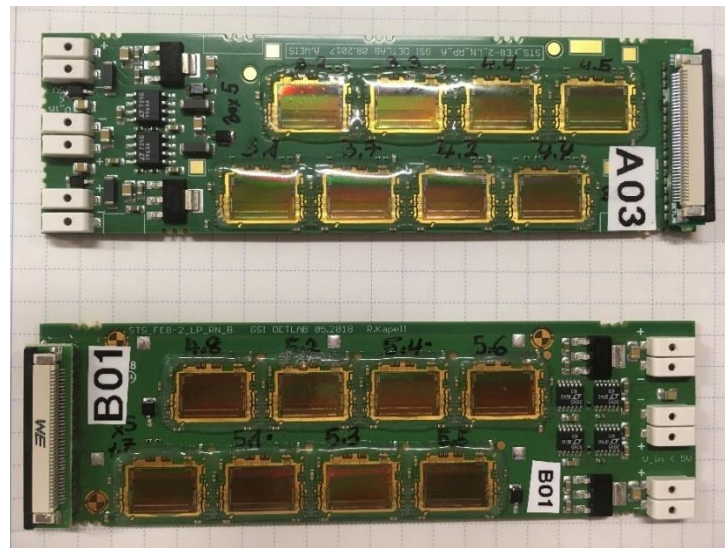


Şekil 2.19: Sinyal mekanizması.

2.2.3.2. FEB8 (Elektronik Kart)

Elektronik kartlar STS yapısında önemli bir bloktur. Bu kartların her biri 8 tane STS-XYTER ASIC taşır ve 1024 kanalı birbirine bağlayan bir kapasiteye sahiptir. ASIC entegrasyonu, saat ve kontrol komutlarının dağılımını ve ilk dedektör modüllerinin kurulumunda kullanılmak üzere iki prototip versiyon üretilmiştir.

Şekil 2.20 var olan iki versiyonu göstermektedir. FEB8 elektronik kartı A ve B versiyonu olarak adlandırılmış ve üzerlerinde 8 tane ASIC bulunmaktadır. Kartlar p ve n tarafındaki okumaları eşleştirmek için simetrik olarak tasarlanmıştır ancak bu dizaynda sistem içindeki modül entegrasyonu ile ilgili konular da göz önünde bulundurulur.



Şekil 2.20: “A” ve “B” versiyonlarıyla FEB8.

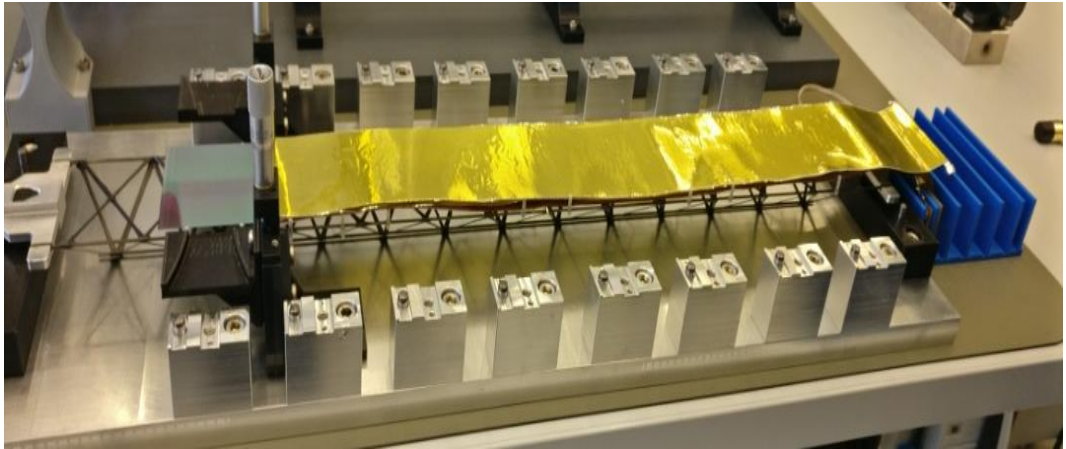
2.2.4. Merdivenler

Kurulumu tamamlanmış bir dedektör modülü test edildikten sonra merdivene yerleştirilir. Bir merdiven sarma tekniği ile üretilen bir karbon fiber (CF) yapıdan oluşur. Dedektörleri merdivene yapıştırmak için “L-ayak” adı verilen 4 tane L şeklinde destek yapısına ihtiyaç duyulur. L-ayağın bir kısmı Araldite-2011 yapıştırıcısı kullanılarak CF merdivenine yapıştırılır ve yapıştırıcı için kuruma süresi yaklaşık 24 saattir.

Kurulum işlemi sırasında sensörlü STS modülleri sabitlenmeleri için karbon fiber merdivenlerin üzerine yerleştirilir ve “L-ayak” olarak adlandırılan yapılar dedektörleri tutmak için merdivenlerin üzerine yapıştırılır. Bununla birlikte, dedektörler L yapıları üzerinde birer birer 100 μ m pozisyonlarla yapıştırılır [54].



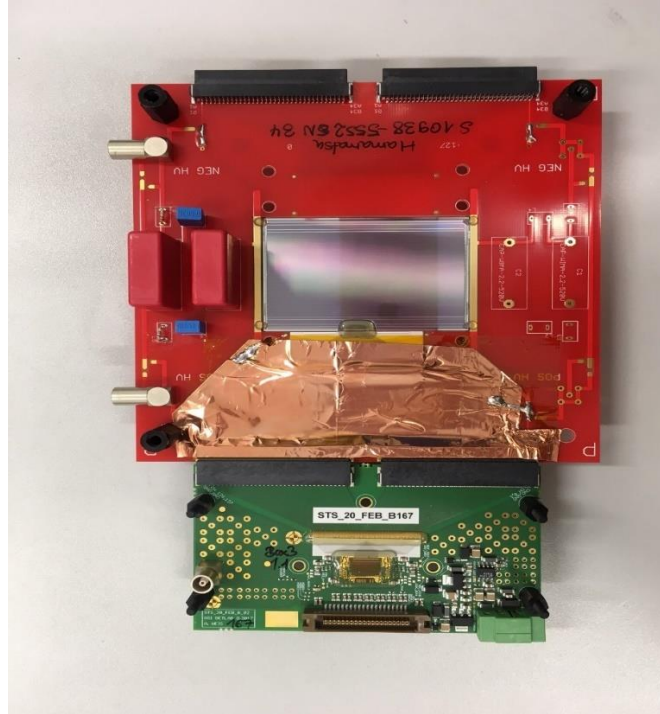
Şekil 2.21: STS modülleri için merdiven.



Şekil 2.22: Merdiven üzerinde dedektör modülü örneği.

2.2.5. STS Sistemi için Prototip FEB8 ve PCB Tasarımları

ASIC kontrol testlerine izin vermesi kolaylığı nedeniyle tasarlanan elektronik kart, silikon dedektörleri okumak için basit bir ara yüz sağlar ve laboratuvar testleri için gerekli bir adımdır. Prototip FEB bir tane ASIC taşır ve ASIC 'in analog girişleriyle dedektör arasında elektriksel iletişim sağlar. Toplamda 128 kanal okunabilir ve bunlar standart bir ERNI bağlantısına adaptörler yardımıyla bağlıdır. FEB adaptörleri test kanalların analog ara belleklerini ve dahili sinyalleri okumayı sağlar. Bu bağlantı tel makineleri ile işlenen tellerle sağlanır. Diğer yandan, dedektörler ERNI konektörleri tarafından FEB'lere bağlanabilen baskılı devre kartlarına (PCB) yerleştirilir. Sistemin diğer ucu kontrol komutlarını ileten ve ayrıca sayısallaştırılmış sinyali up-link yoluyla getiren bir KRL40 konektörü ile bağlanır. Bağlantı LVDS sinyalleri ile yapılır ve ASIC düzeyinde toplam up-link sayısını etkinleştirmek mümkündür. Böylece bu cihazların yardımıyla laboratuvar da dedektör çalışmaları yapmak mümkündür. Silikon dedektör çalışmalarını radyoaktif kaynakla yapmak da mümkündür. Işın dozuna bağlı olarak dedektörün sinyal genliği ölçülebilir. Ayrıca bu sistemler ölçümler sırasında dış elektromanyetik etki ve ışık geçirmeyen ortam yaratmak için metal bir kutuya yerleştirilir.

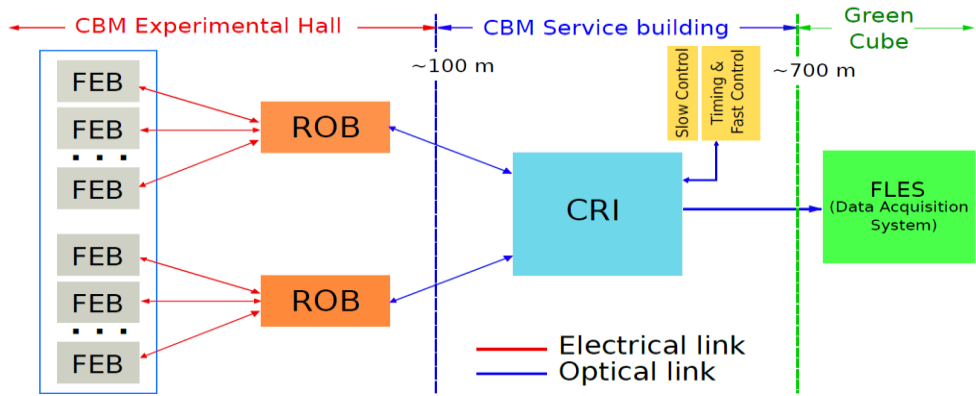


Şekil 2.23: FEB-B ile 1 STS-XYTERv2 ASIC taşıyan bir test PCB'sine yerleştirilmiş bir silikon sensörünün resmi.

2.2.6. Read-Out Sistemi

CBM deneyinde yüksek etkileşim oranları bulunduğundan dedektör performansları hızlı olmalı ve Veri Toplama (DAQ) sistem kapasiteleri üzerine güçlü kısıtlamalar getirilmelidir. Bu nedenle CBM DAQ serbest akış sistemine dayalı olacaktır. Bu sistem, kendinden tetiklemeli elektronikler, hızlı serbest akışlı veri aktarımı ve online etkinlik seçimi içerir. Sistemde elektronik kanallar kendiliğinden tetiklenir, bu da eşikleri geçen herhangi bir sinyali sayısallaştırıp zamana damgaladıkları anlamına gelir. Ayrıca tek bir kanalda gürültü artabilir ve bu kendisine bağlı olan okuma zincirinin tüm parçalarında aşırı yüklenmeye neden olabilir. Bu nedenle güvenlik özellikleri uygulanmalıdır. Ayrıca yüksek bant genişlikli bir ağ gereklidir. CBM ağında veriler senkronize olmayan bir şekilde iletilir. Her okuma katmanı sürekli olarak mevcut verilerini bir sonraki seviyeye iter. Zamana dayalı izleme ve zamana dayalı olay seçimini kullanabilmek için tüm verileri ortak bir zaman dilimine yerleştirmek gerekir. Bu, data zamanlarını ortak bir saate göre damgalayarak sağlanabilir [55].

STS Sistemi için okuma zinciri en basit şekliyle şekil 2.24'de görülebilir. Veriler FEB'lerden toplanır ve elektriksel linklerden optik linklere iletilmesi için bir okuma kartına (ROB) iletilir. ROB, dedektör sistemi içerisinde maruz kalacakları yüksek radyasyon nedeniyle CERN'de geliştirilen radyasyona dayanıklı GigaBit alıcı-verici (GBTX) ASIC ve Versatile Link optik modüllerini kullanır. Ek olarak, optik okuma FPGA tabanlı ön işleme ve veri formatlama katmanına “ortak okuma arayüzü (CRI)” bağlanır. Dedektör kontrolüne ve CBM birinci seviye olay seçicisine (FLES) arayüz görevi yapar. Bu donanım deneysel alan yüzeyine kurulacaktır [56].

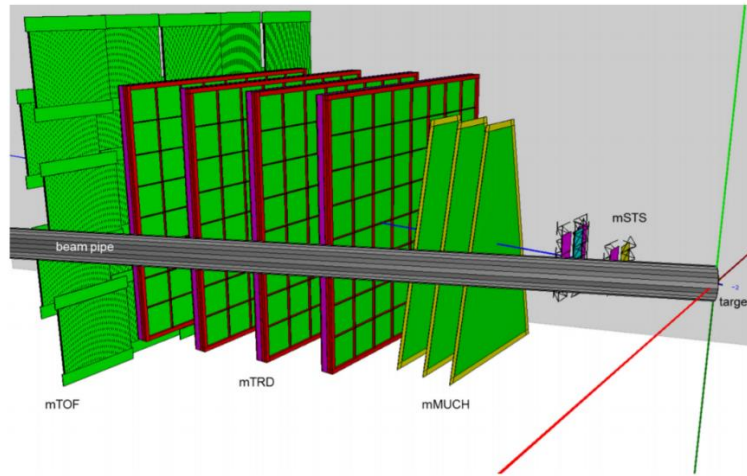


Şekil 2.24: STS read-out zinciri.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.MİNİ CBM DENEYİ

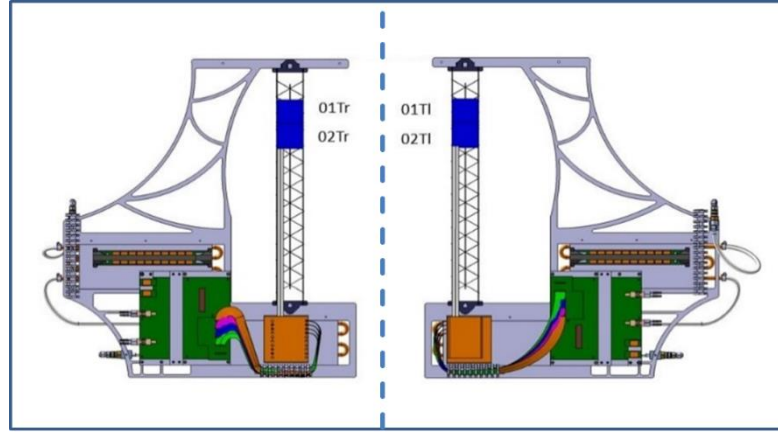
Mini CBM deneyinin gerçekleştirilmesi elektroniklerin ve tüm dedektör sistemlerinin kalitesini test etmek için CBM deneyinden önce temel bir ilk adımdır. Mini CBM deneyinden elde edilen veriler, SIS100 hızlandırıcısıyla gerçekleştirilecek CBM deneyi için bir temel oluşturacaktır. Deney için oluşturulan dedektör demet borusuna yakın 25° 'lık bir açıyla hedefin aşağısına yerleştirilir. Sistem aynı zamanda gerektiğinde çok yönlü olması için tasarlanmıştır ve en iyi performansı elde etmek için yüksek performans sağlayan bir veri toplama sistemi ve birinci seviye durum seçici (mini FLES) kullanılmıştır. Mini CBM sistemi, konum bilgisinin sağlanması için 2 mini STS, 3 mini MUCH ve 4 mini TRD dedektör sistemi içerir ve bu dedektör sistemleri 13° ile 37° arasında bir açıyla yerleştirilir. Şekil 3.1'de sistemin genel görünümü verilmiştir. Öte yandan mini STS demet borusunun yakınına yerleştirildiğinden ve uzağa konulması mümkün olmadığından yerleştirilen alan sınırlıdır. CBM sistemiyle aynı şekilde mini bir elektromanyetik kalorimetre (mini ECAL) ve çarpışma geometrisi için 8 mini PSD sistemi de yerleştirilir. Tüm sistemlere ek olarak parçacıkların uçuş süresinin testi ve kalibrasyonu sırasında bir T0 elmas dedektörüne ihtiyaç duyulur ve TOF bazlı parçacık tanımlama için referans zamanlamasına yerleştirilir. Bu sayaç 0,3 mm kalınlığında çok kristalli elmas plaka ile tasarlanmıştır ve parçacıkların ilk geliş zamanını belirler. Ek olarak 20 mm x 20 mm'lik tek bir levha hedeften yukarıya doğru bir ışın borusu vakumuna yerleştirilmiştir [3].



Şekil 3.1: Mini CBM dedektör sisteminin genel görünümü.

3.1.1. Mini STS Sistemi

Mini STS dedektör sisteminin ana fikri asıl deneydeki sisteme referans olarak yarım istasyon oluşturmaktır. Şekil 3.2’de mini STS sistemini oluşturan yarım istasyonların sağ ve sol çerçeveleri ve bunların üzerindeki iki modül görülmektedir. Konsept yaklaşık olarak 50 cm uzunluğunda yarım merdiven içerir ve her bir merdivenin üstünde iki veya üç modül bulunur. İki modül ilk istasyonu oluştururken, diğer üç dedektör modülünün ikinci istasyonu oluşturması planlanmıştır. Dedektör modülü, 1024 şerit içeren 6.2- 6.2 cm boyutlarında toplam 13 çift taraflı silikon mikro şerit dedektör içerir. Dedektörler, 26 binden fazla kanala ve toplam 2048 okuma şeridine sahiptir. Her bir şerit aralığı 58 mikron, n tarafı 0^0 ve p tarafı $7,5^0$ ’dir. N ve p tarafı için 26 Elektronik kart (FEB) 13 dedektöre bağlıdır ve FEB’lerin üzerinde toplam 208 STS -XYTER ASIC bulunur. Mini STS dedektör modülü deneyden önce test edilmesi için özel olarak tasarlanmış bir kutuya yerleştirilir ve bu kutu elektromanyetik alan ve ışığa karşı bir zırhlamaya sahiptir. Dedektörler, kutunun içinde özel bir soğutma sistemi kullanarak özel bir sıcaklıkta çalıştırılır [3].



Şekil 3.2: Mini STS sistemi

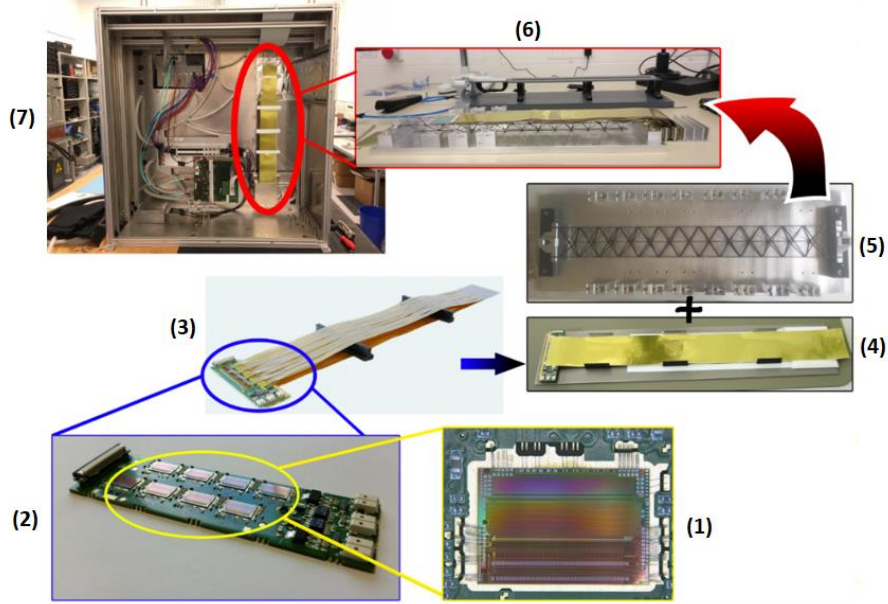
3.1.2. Mini STS için Dedektör Modülü

Mini CBM deneyi, iki merdivenin sağ ve sol tarafları için sırasıyla 01Tr, 01TI, 02Tr ve 02TI adında 4 mini STS modülünden oluşur. Modüllerde hem Hamamatsu hem de CiS sensörleri 50 ve 45 cm uzunluğunda sinyal iletim kabloları ve STS XYTERv2 ASIC'ler kullanıldı (şekil 3.3). Modül kurulumunda, 10 mm kalınlığında yalıtıcı bir Polyimide tabakası ile kaplanmış 14 mm kalınlığında Alüminyum bazlı LTU / Kharkov kaynaklı mikro kablolar kullanılır. Her bir kabloda 30 μ m genişliğinde ve 112 μ m aralığında 64 Alüminyum izi bulunmaktadır. Bu

nedenle dedektörün bir tarafı için sekiz farklı kablo tipine ihtiyaç vardır ve komple bir modülde toplam 32 mikro kabloya ihtiyaç vardır [57]. Modüllerin bileşenleri ve mini CBM deney alanına yerleştirilmesi de Şekil 3.4’de görülebilir. (4). resimde görüldüğü gibi gürültü yapısını azaltmak için dört modül FEB’den başlayarak dedektöre kadar zırhlanması karar verilmiştir.



Şekil 3.3: Mini STS dedektör modülü.

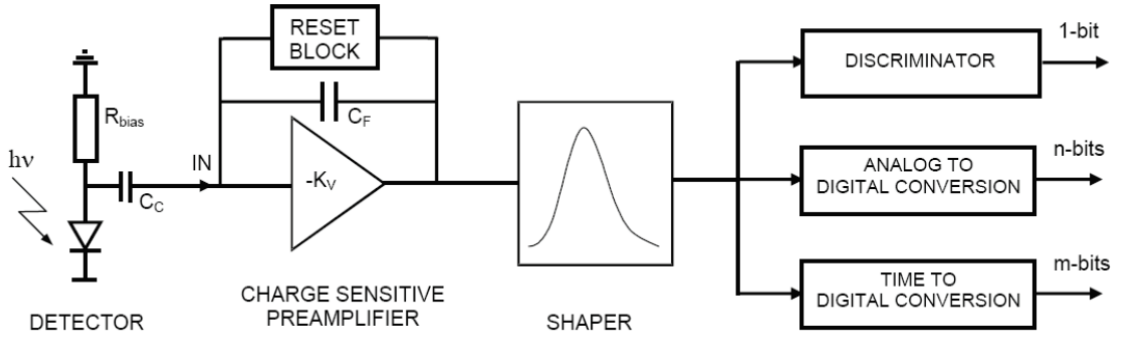


Şekil 3.4: Mini STS dedektör modül bileşenleri.

3.2.ELEKTRONİKLERİN YAPISI

Elektronikler, silikon dedektöründen gelen akım sinyallerini biçimlendirmek ve sonuçlandırmak için kullanılır. Sinyal ilk önce yüke duyarlı yükselticiye entegre edilir ve yükselticinin çıkışında dedektörde üretilen toplam yüke orantılı olarak bir voltaj adımı elde edilir. İkinci aşamada, voltaj aşaması her bir fotona karşılık gelen sinyalin genliğini ölçen analogdan dijitale dönüştürücüye (ADC) sahip şekillendiricilerde işlenir. Burada sinyal oluşma zamanının belirlenmesi de üçüncü aşamadır.

Elektronikleri okuma sistemlerinde, kanalların sayısı genellikle yarı iletken silikon dedektörlerindeki şerit sayısına karşılık gelir. Birkaç bin okuma kanalından oluşan daha büyük dedektör modülleri inşa etmek için çok kanallı, tercihen 32,64 veya 128, entegre devreler tasarlanır. Dedektör okuma sistemindeki uç elektronikler için bir örnek şekil 3.5’de gösterilmiştir [36].



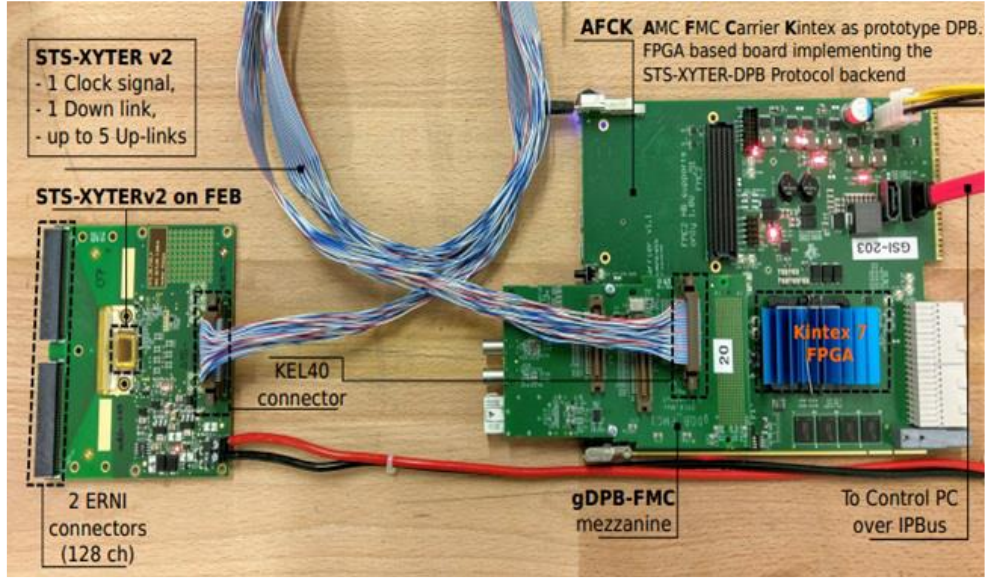
Şekil 3.5: Detektör okuma sistemindeki elektronikler için bir örnek.

3.3.ELEKTRONİK TABLO VE SAYIM SİSTEMİ

FEBB, çip performansını kontrol etmeyi ve farklı dedektörlere bağlanmasını sağlayan bir prototip elektronik karttır. 128 kanallı sekiz STS-XYTERv2 çipi taşımak üzere tasarlanmıştır. Bir uçta silikon dedektörlerinde arabirim oluşturmak için bir çift ERNI konektörü vardır, bunla birlikte arka tarafında tek bir çipin E-LINK ara yüzü olarak bir KEL40 konektörüne sahiptir. Sistemin ara yüzünde LVDS sinyallerini 1 clock, kontrol ve konfigürasyon için 1 downlink ve

veri okuma ve kontrol yanıtları için 5 uplink ile uygular. ASIC çalıştırıldıktan sonra, ASIC ve FGPA kartı arasında kontrol ve veri çerçevelerinin senkronize değişimi gerçekleştirilir. Bir dizi çoklu çip kaydına erişildiğinde çipin analog ve dijital kısmı işlem için doğru ayarlarla konfigüre edilmektedir. Bu kayıtlar arasında, ADC ve hızlı ayırıcı için referans potansiyellerinin kontrolü, ayrıca doğru polarite seçimi ve CSA besleme akımı dahil edilmiştir.

STS-XYTERv2 ile yapılan temel testler için deneysel kurulum şekil 3.6'de gösterilmektedir. Sistem, ilk ASIC karakterizasyonu ve çalışma testleri için GSI'da kurulmuştur. Kurulum, tek bir STS-XYTER v2 ASIC, ortak CBM veri işleme kartı (DPB) prototipi (AFCK) ve arabirim amaçlı bir gDPB FMC kartı içeren bir prototip kart (FEB) içerir. DPB, STS protokol test cihazının ve çip operasyonel test prosedürlerinin uygulandığı bir Xilinx Kintex7 FPGA tabanlı bir karttır. Bu sistem, ürün ve yazılım geliştirmenin yanı sıra dedektör ve ASIC testlerine izin veren basit bir platformdur. Veri ve kontrol sinyalleri, IPBus protokolü kullanılarak bir kontrol PC'sine yönlendirilir [58].



Şekil 3.6: Elektronik tablo ve sayım sistemi.

3.4.POGO-PİN İSTASYONU

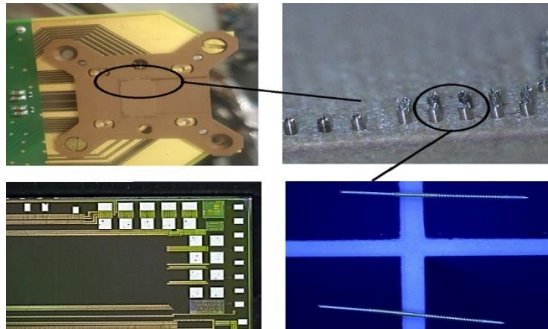
Pogo-pin, ASIC seviyesinde temel işlevlerin kontrol edildiği Aps Solutions GmbH, Münih ve WinWay Teknoloji, Tayvan iş birliğiyle dizayn edilen bir test istasyonudur [59]. ASIC'in vakumlu cımbız kullanılarak yerleştirilebileceği bir test oyuğu içerir. Sistem, çipin $150\ \mu\text{m} \times$

150 μm boyutundaki temas noktalarına erişen bir dizi yay sistemli iğne ile çalıştırılır ve test yapılır. 53 pogo iğnesi pogo pin istasyonuna hassasiyetle yerleştirilmiştir. İğnelerin yalnızca 100 μm 'lik bir çapı vardır. Şekil 3.7'de görülen eski pogo-pin istasyonu çip kalite ölçümleri için ilk araçtı ve bir süre sonra iğnelerin olduğu kısım her ölçümde tekrar tekrar vidalanarak kapatıldığından hasar görmüştür. Vidanın elle tam olarak ayarlanması mümkün olmadığı için iğnelere zarar verebileceği tahmin edilmektedir. İstasyonun yeni versiyonu ise (şekil 3.9), çipin yerleştirilmesi sırasında bir vakum sistemine sahiptir ve özellikle bahsedilen bu soruna karşı tasarlanıp uygulamaya alınmıştır [58].

Yeni istasyonda iğneler, istasyonun fonksiyonel topuzu sayesinde çip temas noktalarına kolayca bağlanmaktadır.



Şekil 3.7: Pogo-pin test istasyonunun eski versiyonu.



Şekil 3.8: Pogo-pin istasyonundaki iğnelerinin yakından görünümü. Bir iğne 100 μm çapına sahiptir (sağ aşağıda görülmektedir). STS-XYTER ASIC üzerinde iğnelerin denk geldiği alanlar (sol aşağıda görülmektedir). Kare bölgelerde görülen izler iğnelerin çipler üzerine temas ettiğinin kanıtıdır.



Şekil 3.9: Pogo-pin test istasyonunun yeni versiyonu.

CBM deneyinden önce, silikon şerit dedektörü için uygun bir ölçüm özelliği bulmak amacıyla çiplerin test edilmesi faydalıdır. Başlangıçta tüm ölçümler manuel olarak yapılmıştır, ancak gelecek için tüm parametrelerin CBM veri tabanında sabitlenmesi planlanmaktadır.

3.5.ÖLÇÜMLER

Silikon dedektör sistemlerinde, yüksek kanal yoğunluğu nedeniyle entegre devre (IC) çok kanallı olmalıdır. Entegre devrenin, kayıtlı olayların her birini $\sim 5\text{ns}$ zaman çözünürlükle ve depolanan yükleri de 15 fC 'ye kadar ölçebilmesi gerekir. Öte yandan, elektronikler yük olarak hem elektronları hem de boşlukları ölçmelidir [60]:

Bir katı hal dedektörünün okunması için puls işleme ve sayısallaştırma yöntemi aşağıdaki gibi çeşitli şekillerde yapılabilir:

1- *İkili işlem:* Bu işlemde, CSA'dan gelen voltaj sinyali eşikli bir ayırıcıda karşılaştırılır ve sinyal yüksekliği bu eşiği aştığında tespit edilebilir. Ancak her sinyal için genlik hakkında kesin bir fikir edinmek mümkün değildir.

2- *ADC kullanarak ölçüm:* Sinyal genlik ölçümü gerektiğinde ADC ölçümü önemli bir rol oynar. Analog çoğaltıcı ile birlikte birkaç kanal için ADC sistemi uygulanır

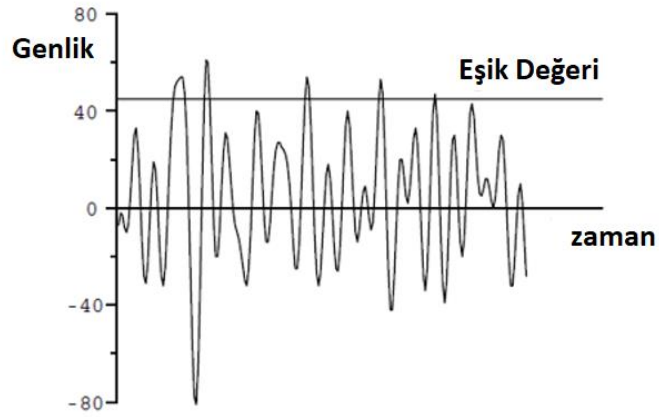
3- STS-XYTER çipte her kanal için 5bit flaş ADC vardır (çoğaltma yoktur).

3.5.1. Eşik Ayırıcı Sistemlerde Test Metodolojisi

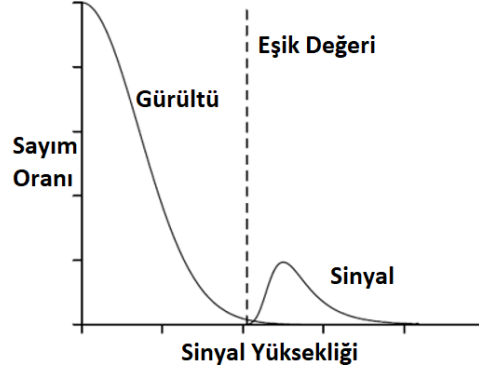
Birçok sistemde birincil işlev yalnızca bir sinyalin varlığını tespit etmektir. Böyle bir sistem için de bir eşik algılama sistemi gereklidir. Buna temel eşik ölçümü denir ve çalışma prensibi sinyallerin bir eşiği geçip geçmemesine dayanır.

Ölçümler sırasında gürültü hem genlik çözünürlüğünü hem de tespit edilebilir minimum sinyal eşiğini belirleyen en önemli etkidir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, dedektörden gelen sinyal olmadığında gürültü taban çizgisinde üst üste binecektir. Bunun nedeni gürültü sinyallerinin gauss genliği dağılımına sahip olması ve bazılarının eşik ayarına rağmen eşiği geçmesidir. Ancak gürültü oranı eşik ile değişir.

Eşik değerlerini arttırarak gürültü oranını azaltmak mümkündür ancak sinyallerin % 1'inin kaybından daha yükseğe ayarlanamaz. Bu, minimum iyonlaştırıcı parçacıklar için bir Landau dağılımında Şekil 3.11'da gösterilmektedir [61].

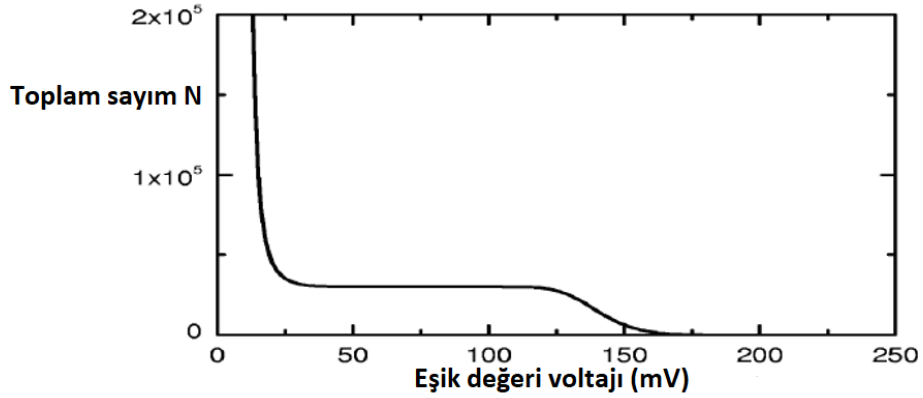


Şekil 3.10: Eşik ayarlarına bağlı olarak gürültü darbeleri.



Şekil 3.11: Gürültü ve sinyal hızının karşılaştırılması. Eşik ayarı sinyal darbelerini reddetmekle birlikte az miktarda gürültü darbesi eşiği aşmaktadır.

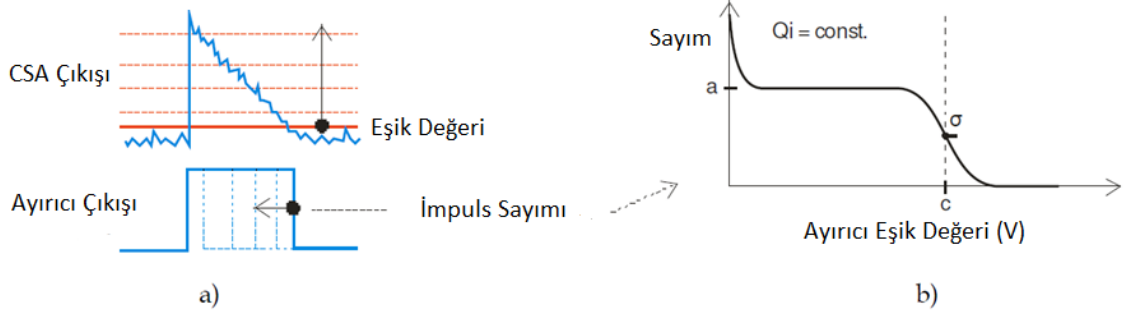
Sinyal-gürültü oranı, kanalların ikili okuma sisteminde bir ayırıcı ile sonlandırılmasından ötürü en önemli sorunlardan birisidir. Şekil 3.12’de ayırıcı çıktısındaki tipik bir sayım grafiği eşik voltajının bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, özellikle 30 mV’nin altındaki düşük eşik değerleri için keskin bir sayım artışı gözlenir ve bu toplam sayıma katkıda bulunan gürültüden kaynaklanır [60].



Şekil 3.12: Eşik seviyesine bağlı olarak ayırmıcadaki toplam sayım sayısı.

Ölçüm sisteminde bir yüke duyarlı yükselteci (CSA) kullanıldığında, eşdeğer gürültü yükü (ENC) genellikle gürültüyü karakterize etmek için kullanılır. Eşik tarama CSA voltaj kazancını ve ENC’yi elde edebilmek için ikili sistemlerde CSA parametrelerini çıkarmanın bir yöntemidir.

Testler çeşitli ayırma eşikleri için bilinen genliklere sahip test yükleri kullanılarak yapılır ve daha sonra s-eğrileri, devrede kayıtlı yükler kaydedilerek elde edilir (şekil 3.13).



Şekil 3.13: (a) Farklı eşik değerleri için pulse kazanımları (b) Eşik taramasından elde edilen s-eğrisi.

S-eğrileri sistemde gürültü olmadığında keskin bir özellik (bir “adım tepkisi”) gösterir. Aksine, sinyale gürültü eklendiğinde, s-eğrileri daha azalmış hale gelir. Sinyal Gauss dağılımına sahip olduğundan modifiye edilmiş hata fonksiyonunu s eğrisine fit etmek suretiyle sinyal genliği ve rms gürültüsü belirlenebilir.

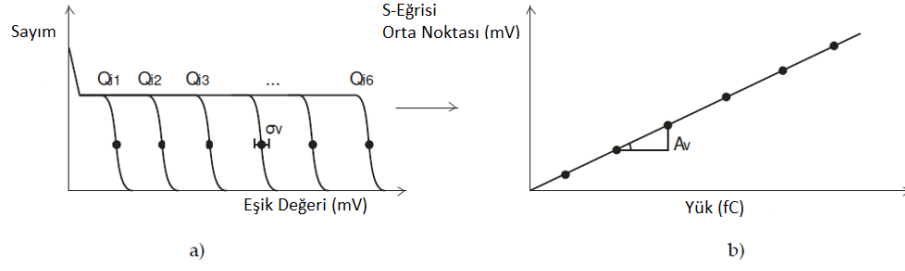
$$y = \frac{a}{2} x \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x-c}{\sqrt{2} \sigma} \right) \right] \quad (3.1)$$

a - enjekte edilmiş nominal puls sayısı, c - sinyal genliğine tekabül eden s-eğrilerinin orta noktası ve σ rms gürültü voltajıdır.

S-eğrilerinin orta noktalarının alınması ve yüklere göre çizilmesi, CSA'nın voltaj-kazanç karakteristiğini belirlemeyi sağlar (şekil 3.14). Sonra ENC değeri denklem ile hesaplanabilir [60].

$$ENCv = \frac{\sigma_v}{A_v} \quad (3.2)$$

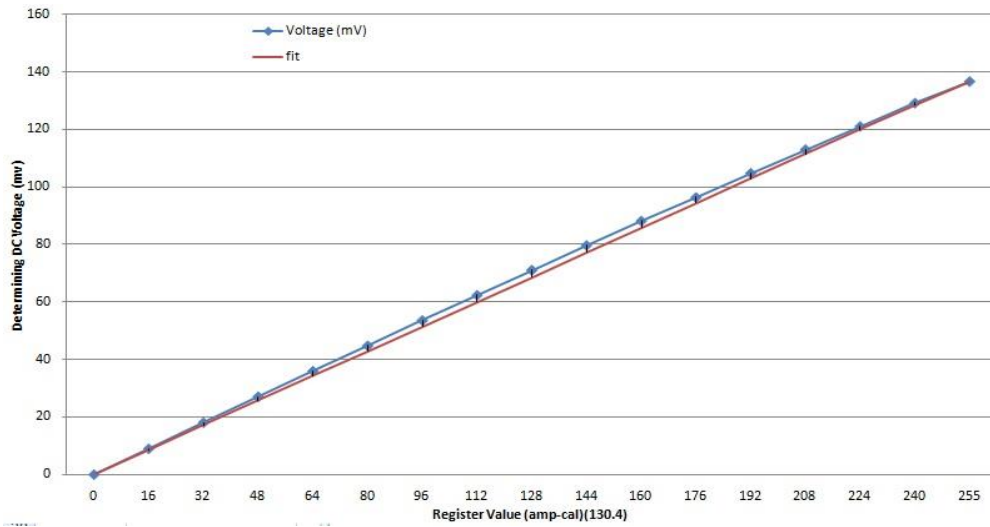
Tezdeki ölçümler için s-eğrileri, programdaki test aşamalarında elde edilip gürültü seviyeleri hesaplanmıştır. Bunlar sonuç kısmında detaylıca verilmiştir.



Şekil 3.14: (a) Birkaç s-eğrisi (b) Kazanç karakteristiği.

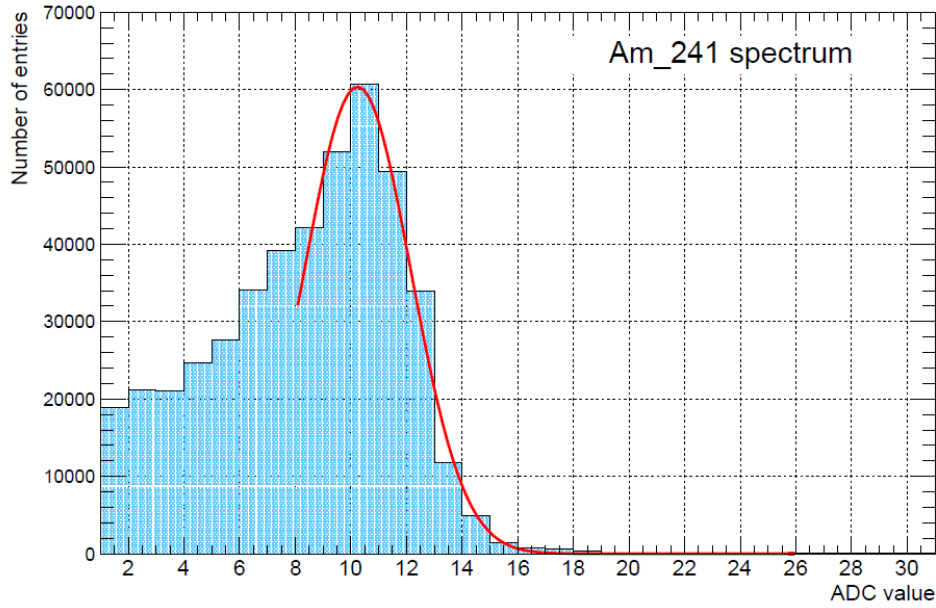
3.5.1.1. Dahili Sinyal Kalibrasyonu

ADC'yi ve ayırıcıları kalibre etmek ve ayrıca çipin analog cevabını test etmek için, birkaç programlanabilir genlikli sinyalin üretilmesiyle dahili sinyal kalibrasyonu kullanılır. Dahili sinyal üretici DAC yazıcısı üzerinden kontrol edilir. Dahili sinyal üreticinin kalibrasyonu bir LEMO konektörü aracılığıyla FEB-B ye bağlantı kurularak yapılabilir. LEMO konektörünün ucuna bir Peak Tech 2155 LCR metre bağlandı ve ardından farklı sinyal genlikleri uygulanarak monitördeki gerilimler kaydedilmiştir. Bu voltaj değerleri sinyal genliklerini (amp-cal) belirtmektedir. Şekil 3.11'de beklenen kalibrasyon (1) doğrusallığı (kırmızı çizgi) ve ölçülen kayıtlı değerler görülebilir. Eğim yaklaşık olarak 0.5 mV /LSB değerinde hesaplanmıştır ve 1 amp cal biriminin 0,056 fC veya 347 elektrona eşdeğer olduğu bilinmektedir [58].



Şekil 3.15: Dahili sinyal kalibrasyonu.

Ayrıca, ^{241}Am gama kaynağından 59.5 keV enerjisi kalibrasyonu doğrulamak için kullanılmıştır (2). Tercihen ADC kanalları 0.11 fC/ADC LSB kazanç, yaklaşık olarak (3.42 ± 0.03) fC'lik bir indirgenmiş dinamik aralık ve ayrıca (1.52 ± 0.02) fC'lik ortalama bir ofset ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon FEB'e bağlı 4.2×6.2 cm² boyutlarında bir silikon sensör ile gerçekleştirilmiştir. 128 şeritli (dedektörün sadece 128 şeridi çipte okunması için bağlanmıştır, aslında toplamda 1024 şeridi vardır) dedektörün n-tarafı tam tüketimi sağlamak için 150 V değerine kadar beslenmiştir. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi, 59.5 keV enerjisinin en yüksek pozisyonu bir Gauss fit ile belirlenip ve 10.2 LSB ADC değeri vermiştir. Depolanan enerji, kalibrasyon sonucunda (2.55 ± 0.12) fC olarak bulundu ve bu referans değeri olarak bilinen 2.64 fC beklenen değerine yakın görülmüştür. Aradaki yaklaşık %2'lik fark dedektör ve elektronikler arasında yük paylaşımı veya dedektörde tam olarak toplanamayan yükler ile açıklanabilmektedir. Bu analizde yalnız bir şerit kümesi dikkate alınmıştır [62].

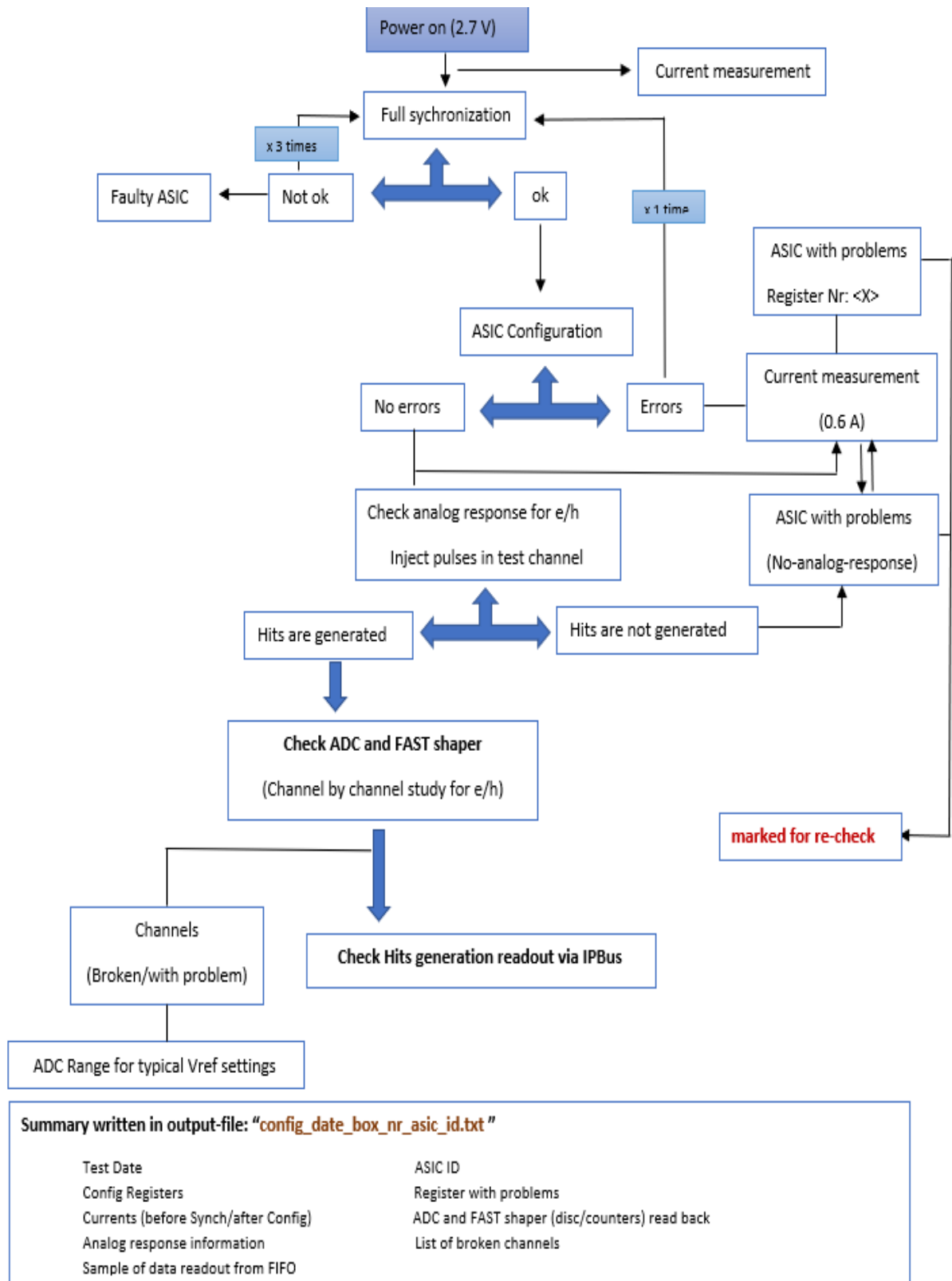


Şekil 3.16: STS-XYTER v2 çipinin silikon şerit sensörü ile ölçülen bir kanalında ^{241}Am spektrumu.

3.5.1.2.STS-XYTERv2 ASIC Testi

STS/MUCH XYTER testi dedektör modülünün kurulumunda ilk aşamadır ve Elektronik kartlara yerleştirilmeden önce kalitelerini kontrol etmek önemlidir. Bu işlemi gerçekleştirmek için, daha önce belirtilen eski ve yeni pogo istasyonu ile 339 ayrı ASIC için özel kalite testleri yapılmıştır. Şekil 3.17'de, pogo istasyonu ile test prosedürünü gösteren bir şema verilmiştir.

Test süreci çipin sisteme konulması ve güç kaynağına bağlanmasıyla otomatik olarak başlar. İlk olarak akım ölçülür. Bu aşamada belirlenen referans değerini görmek önemlidir. Daha sonra çiplerle konuşmaya başlanır ve sistemde uyguladığımız impulslara karşılık çipteki kanalların cevap vermesi beklenir. En son olarak da her kanal için sinyal değerleri ADC’de okunur ve program otomatik olarak bir sonuç dosyası oluşturur. Ölçümler sırasında ASIC numarasını otomatik olarak belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle Şekil 3.18’de gösterildiği gibi ASIC’ler saklama kutularındaki satır ve sütunlara göre numaralandırılmıştır. Süreç, ASIC’i pogo pin levhasına yerleştirdikten sonra otomatik olarak başlar ve ASIC başına yaklaşık 5 dakika sürer. Test işleminde, her ASIC için testler yapılmıştır. Senkronizasyondan ve konfigürasyondan sonra akım değerleri, referans voltaj değerleri, ASIC’e bir test impuls uyguladıktan sonra yanıt alınabilirliği belirleyen analog cevap ve en önemlisi ADC’nin elektron konfigürasyonu ile boşluk konfigürasyonu için çalışma aralığı s-egşrilerinden belirlenebilir. Bu değerler, 128 kanaldan biri olan ve özellikle seçilen kanal numarası "64" için elde edilmiştir. Sonuç olarak işlemin çıktısı tüm ASIC’ler için daha sonra erişilebilen bir veri dosyasına yazılır. Tüm bu ölçümlerden sonra ise bozuk kanal numaralarının %1’den daha az olması beklenir.



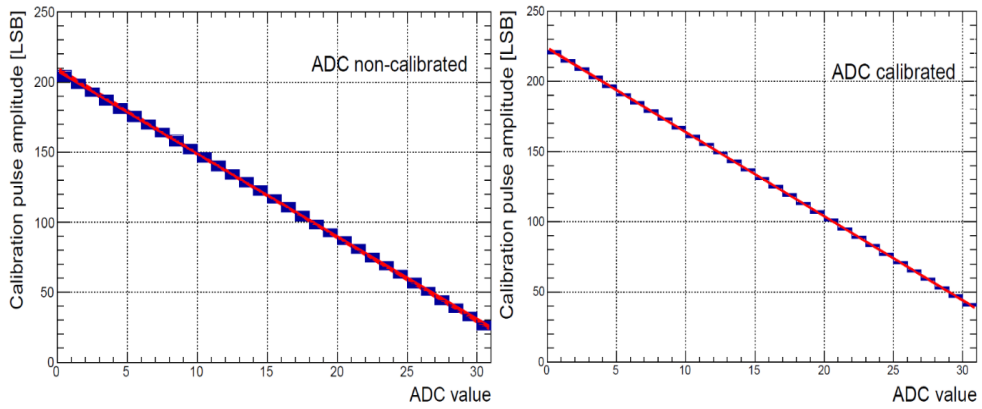
Şekil 3.17: Çip test aşamaları.



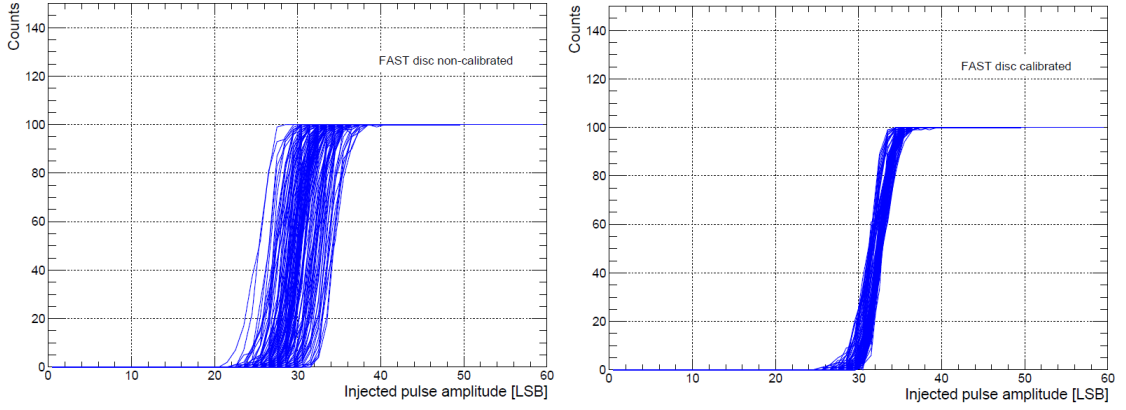
Şekil 3.18: STS-XYTER ASIC ve numaralandırılması.

3.5.1.3.ASIC Kalibrasyonu

STS XYTER çipinde tüm kanallar 5 bitlik bir flaş ADC ve hızlı kısım için bir ayırıcı içerir. Dinamik ADC aralığını, eşit derecede direnç gösteren ve ayırıcının eşliğini belirleyen “VRef P” ve “VRef N” referans potansiyellerini değiştirerek belirlemek mümkündür. Her kanalın hızlı ayırıcısını düzeltmek ve her kanalın ayırıcısına uygun değerleri bulmak için bir parametrenin tanımlanmış aralığa göre değiştiği bir tarama yöntemi kullanılır. İşlem temel olarak kalibre edilmiş bir dahili sinyal üretici uygulamasına ve 128 x 32 element matrisi içeren bir metin dosyası formatına sahip olan S-eğrilerinin incelenmesine dayanır. Bu dosya her kanal için bilgiler içerir. Şekil 3.19 ve 3.20’de, kalibrasyondan önceki ve sonraki bir ADC doğrusallığının yanı sıra hızlı ayırıcı eşığının homojenliği de görülebilir. ASIC ADC’leri, 20-240 LSB birimine karşılık gelen, 12,2 fC’lik dinamik bir aralıkta kalibre edilmiştir [62].



Şekil 3.19: Kalibrasyondan önce ve sonraki ADC değerleri.



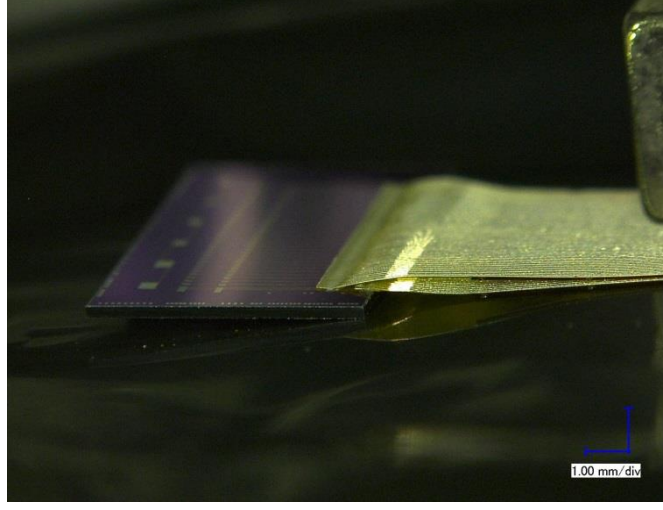
Şekil 3.20: Kalibrasyondan önce ve sonraki “S-Eğrileri”.

3.6.MİNİ CBM DENEY SETİ KURULUMU VE ÖLÇÜMLERİ

3.6.1. Dedektör Modülünün Kurulumu

Dedektör modülleri için kurulum işlemi GSI'deki temiz oda laboratuvarında yapılmıştır. Bu süreç dört ana adımdan oluşur [57]:

İlk adımda, mikro kabloların 16 STS-XYTER ASIC'e bağlanması bir F&K Delvotec G5 Kama yapıştırıcı ile yapılır. STS-XYTER, cihaz üzerindeki yüzeye yerleştirilir ve ve çipin alt katmanı özel bir fikstür üzerine vakumla sabitlenir. Daha sonra mikro kablo dikkatlice hizalanır ve mikroskop altında bir μm -vida yardımıyla ayar yapılır. Fikstür, bağlayıcının adaptör plakasına yerleştirilir ve hizalama doğru olduğu taktirde kablonun 64 kanallı ilk katmanını yapıştırma işlemi başlar. Alt katmanlar daha sonra çiplere yapıştırıcıyla sabitlenir. Yapıştırıcı kuruduktan sonra, çipin ikinci kablo sırasına bir başka tabaka bağlanır. Bu işlemlerden sonra, mikro kablolar kısa ve uzun kablolarla sıralanmış olarak P ve N tarafının destek plakalarına yerleştirilir ve bağlama sıraları korunmak üzere yapışkanla sabitlenir. Bu aşamada mikrokablolar ve STS-XYTER çip arasında bağlantı kontrolü için bir test yapılır.



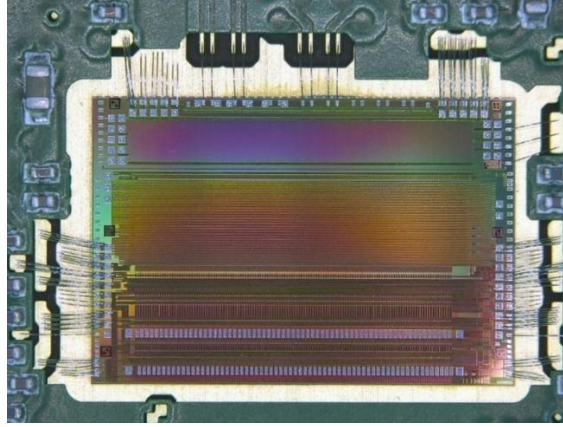
Şekil 3.21: STS-XYTER çipine bağlanan kabloların yakından görünümü.

İkinci adım, kablonun diğer ucunu dedektörün p ve n tarafına bağlamaktır. Mikro kablonun alt katmanı ve dedektör, mikro-yerleştirici yardımıyla vakumlama ile sabitlenir ve kablonun ilk katmanı dedektörün p tarafına bağlanır. Bağlanan mikrokablo dedektörün kenarına küçük bir tutkalla sabitlenir ve üst katman da aynı yöntemle dedektöre yapıştırılır. Bunun dışında, bağlantıyı korumak amacıyla yapıştırıcıyla koruma işlemi yapılır. Yine bu aşama sırasında da STS-XYTER çip ve dedektör arasında bir bağlantı testi yapılır.

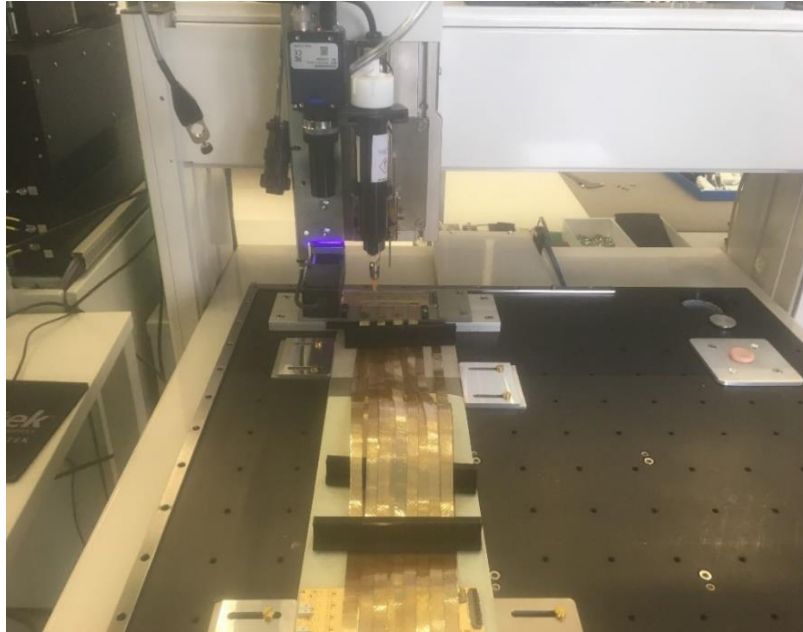


Şekil 3.22: Çipe bağlı olan kabloların diğer uçlarının dedektöre bağlanma işlemi.

Üçüncü adım çiplerin FEB'in ilk dört sırasına konması ve bağlanmasıdır. Bağlamadan önce FEB'ler ultrasonik bir banyoda özel bir temizleyici ile temizlenir. Çiplerin bağlanması ve test edilmesinden sonra, bağlantılar üstlerinin tamamen bir yapışkanla kaplanması yöntemiyle (Globtop) ile korunur. Daha sonra lehimleme ile çipin sinyal çizgisi üzerinde bir koruma yapılır. Bir sonraki adım olarak, çiplerin uzun mikro kablolu kısımları P-tarafı için FEB'nin arka sırasına bağlanır. Bu sırada, FEB test edilir ve eğer her şey yolundaysa, ikinci sıra Globtop ile korunur. Sonra N tarafı için de aynı işlem tekrarlanır.

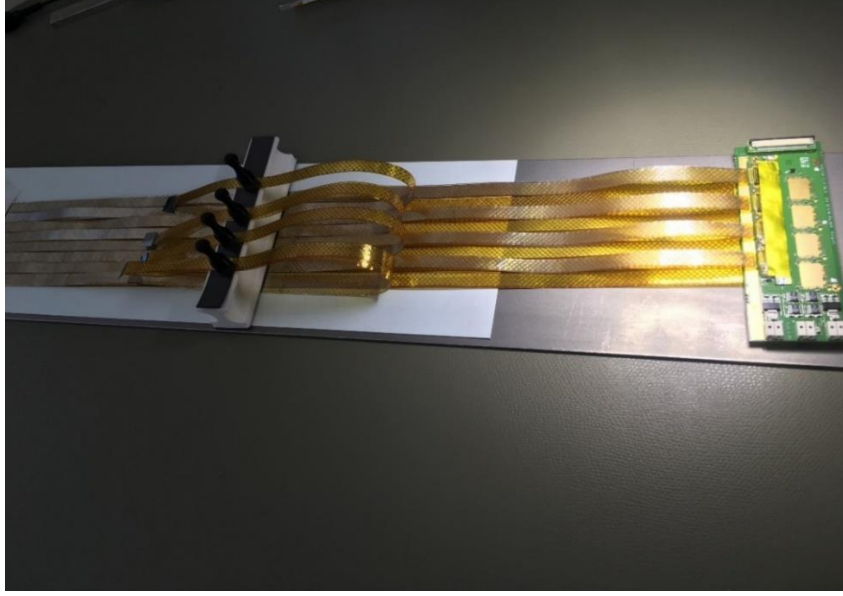


Şekil 3.23: FEB'e bağlanmış bir çip.

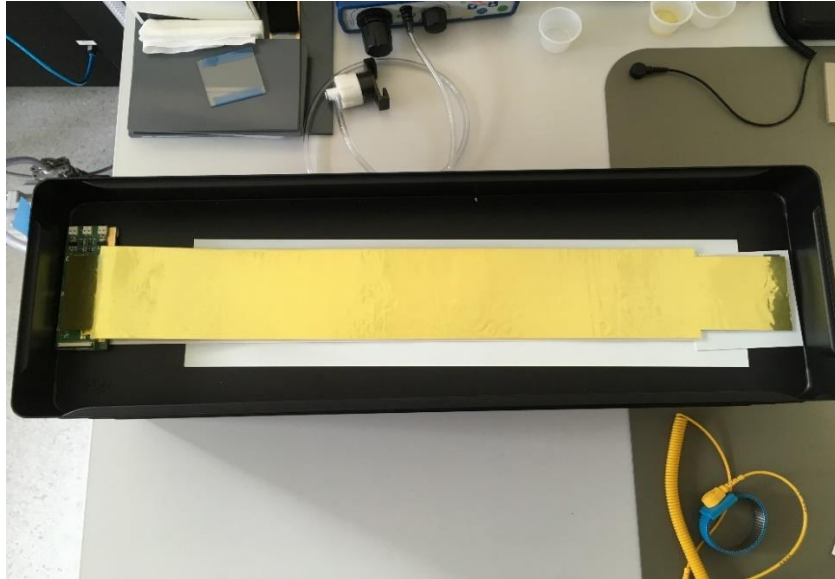


Şekil 3.24: Glop-top işlemi.

FEB'leri test ettikten sonra, zırhlama malzemeleri modülün üstüne P ve N tarafında ayarlanır. Daha sonra, zırhlama FEB'te yapışkanla korunmuş çiplerin üstüne sabitlenir. FEB'ler yaklaşık 90 derece bükülerek soğutma kutusuna yerleştirilir ve bu durumdan dolayı zırhlama biraz yer değiştirir. Ek olarak, elektrik teması lehimleme ile sağlanmıştır.



Şekil 3.25: Çiplerin izolasyon yöntemi.



Şekil 3.26: Zırhlaması yapılmış STS modülü

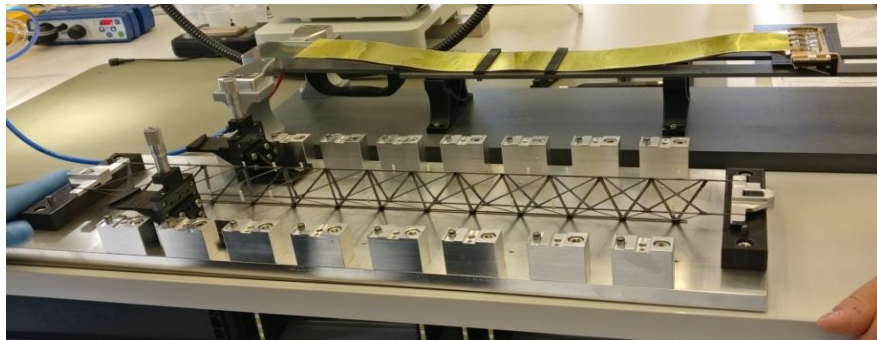
3.6.2. Dedektör Modüllerinin Merdiven Üzerine Kurulumu

Dedektör kurulumunun en son adımı modüllerin merdiven üzerinde yerleştirilmesidir. GSI'da kullanılan merdiven kurulumu tekniğine göre modüller birbiri ardına merdiven üzerine monte edilir ve merdivenler 10 modüle kadar dayanabilir. Mini CBM modülleri için asıl deneydekinin yarı boyutunda merdiven (Şekil 3.27) kurulmuştur.

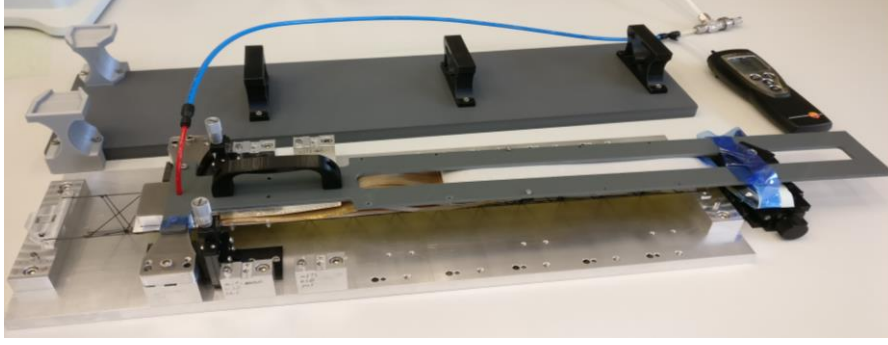


Şekil 3.27: Mini STS için merdiven örneği.

Merdivenlerin montajı için kullanılan aletler basittir ve mekanik yapıya dayanır. İlk adım, taban plakasını merdiven blokları ile monte etmektir. Merdiven daha sonra Araldite 2011 tutkal kullanılarak blokların oluklarına yapıştırılır. Modüllerin merdiven üzerine monte edilmesinde, dedektörleri tutmak için L-ayakları olarak bilinen cam elyaf L şeklinde yapılar kullanılır. Her dedektör için 4 tane L-ayağı gereklidir. L-ayakları önce sabitlenir. Bir sonraki adım da tüm dedektör modüllerini hassas bir aktarma aracıyla kavramak ve ardışık yapıştırma kullanmak için karbon merdivenin üzerine yerleştirmektir. Dedektörün doğru şekilde konumlandırılması için (100 μ m mertebesinde) fikstür, ortamda sabit bir sıcaklıkta tutulmalı ve bu işlemden sonra dedektörlerin konumu ölçülmelidir.

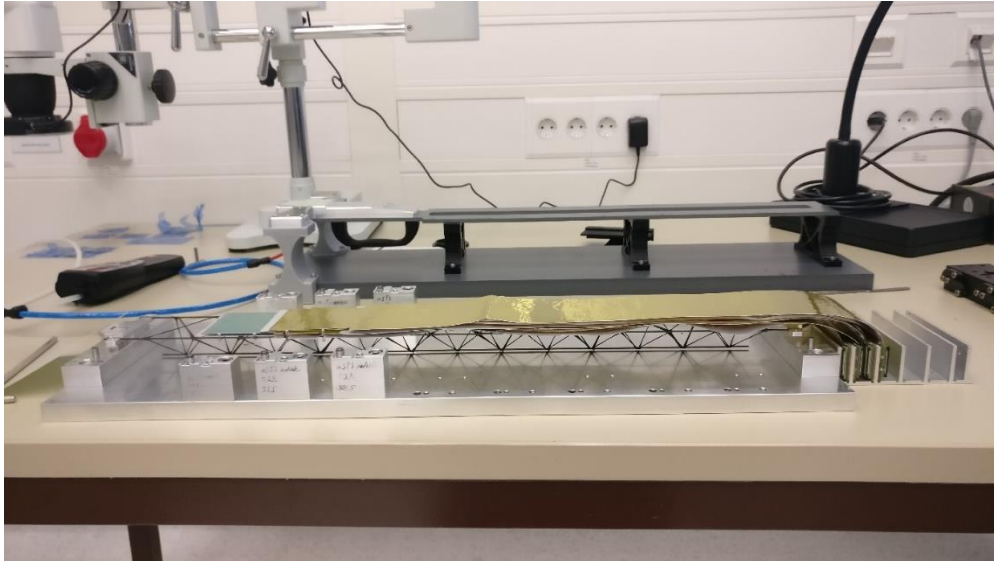


Şekil 3.28: Modüllerin merdivenlere hizalanması için tasarlanmış alet.



Şekil 3.29: STS modülünün hizalanması.

Şekil 3.28'da gösterildiği gibi bir alet tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu alet, vakum uygulayan bir dedektör tutucuya sahiptir ve tüm bir modülü tutabilmesi için daha da uzatılmıştır. Modül cihaza hizalandıktan sonra, şekil 3.30'da gösterildiği gibi merdivene yerleştirilir. Konumlandırma bloklarının içindeki pimler L ayaklarına yapıştırılırken dedektörlerin doğru pozisyonun sağlanmasına yardımcı olur. Mini STS için, aynı montaj tekniği kullanılarak iki tane $6 \times 6 \text{ cm}^2$ lik sensör merdivene monte edilebilir. Modüllü merdivenler en son olarak da çerçevelere yerleştirilir [63].

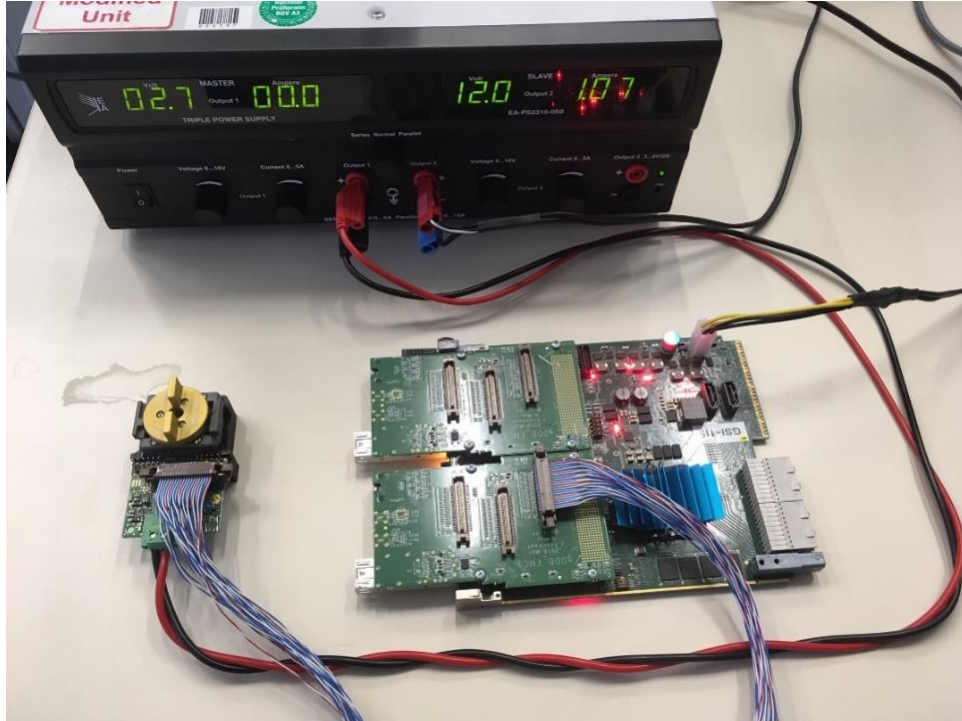


Şekil 3.30: İki mini STS modülü konulmuş merdiven örneği.

3.6.3. Mini CBM Deneyi için STS-XYTER ASIC Testi

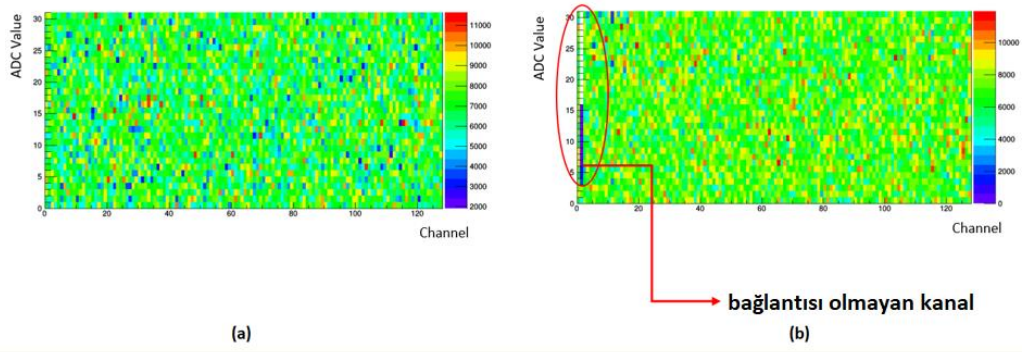
Mini CBM deneyinin dört modülünün kurulumu sırasında ASIC testleri ilk olarak ASIC seviyesinde, daha sonra kablo ile ASIC arasında ve son olarak da ASIC, kablo ve dedektör arasında olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir. Tüm bu ölçümlerin temel amacı, kanalların bağlantı durumunu kontrol etmektir. Ölçümler GSI'daki temiz odada yapılmıştır. Ayrıca kurulum Şekil 3.31'de görüldüğü gibi pogo pin test soketi, güç kaynağı, FPGA tabanlı bir AFCK kartı ve özel bir PC içerir. Çipleri test sistemine yerleştirmek için bir vakum cımbız kullanılmıştır ve tüm ölçümler Python ile yazılmış bir program aracılığıyla yapılmıştır.

Ölçümlerde ilk adım olarak toplam 98 çip mini CBM düzeneği için ayrı ayrı test edilmiştir. Dedektör modülleri için kurulum işleminde iyi kalite gösteren çipler kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra, mikro kablolar çiplere bağlanmış iki katmanlı kabloya sahip olduğundan, kabloların her katmanı için bağlantı sağlanamayan kanalları belirleyebilmek adına gürültü seviyesini ve sinyal dağılımları ölçülmüştür. Son olarak da kablolar dedektöre bağlanmıştır ve tekrardan çip tarafında çiplerle arasındaki bağlantı test edilmiştir.



Şekil 3.31: GSI temiz odadaki ölçüm sistemi.

Belirli bir kanalın gürültü seviyesi giriş kapasitesine bağlıdır. Bu kapasite, bir kablo bağlandığında ve ayrıca dedektör bağlantısı da eklenince artar. Bu nedenle, bağlı olmayan kanallar (çip/kablo veya kablo/dedektör ara yüzünde) düşük gürültü seviyelerinde tanımlanabilirler. Bağlantısı olmayan kanallar belirli bir kanaldaki gürültü sinyal dağılımları kontrol edilerek tespit edilir. Şekil 3.32'de seçilen bir çipin bağlantı testi sonucu verilmiştir. Görülebildiği üzere ADC değerleri cinsinden sinyal dağılımını incelerken bağlantısı olmayan kanallar sürekli bir çizgi olarak görünmektedir.

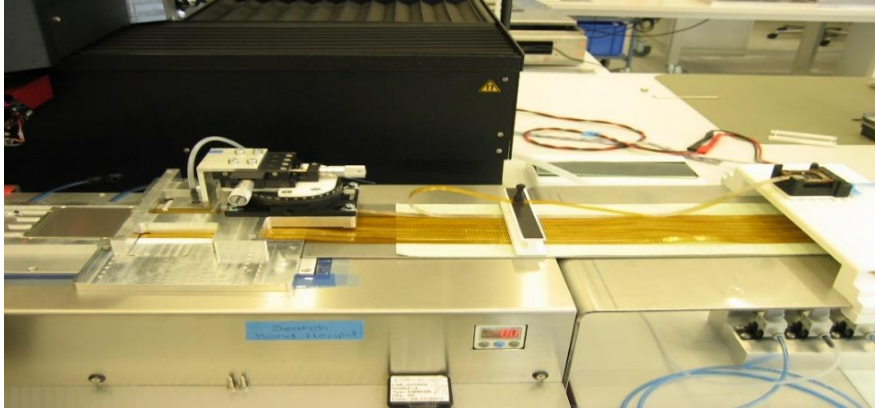


Şekil 3.32: ADC sayaçlarında okunan çipin gürültü dağılımı (a) iyi bir çip için sinyal dağılımı örneği (b) bağlantısı olmayan bir kanala sahip olan bir çip için sinyal dağılımı.

Bu ölçümlerin yararlı tarafı pogo pin istasyonu ölçümlerinden sonra kurulum sırasında bu problemin görüldüğü kanallar için kabloların çiplere ya da dedektöre yeniden bağlanabilmesidir. Ek olarak Şekil 3.33 ve Şekil 3.34, sırasıyla çip testlerinin ikinci ve üçüncü aşaması için diğer bir örneği temsil etmektedir.

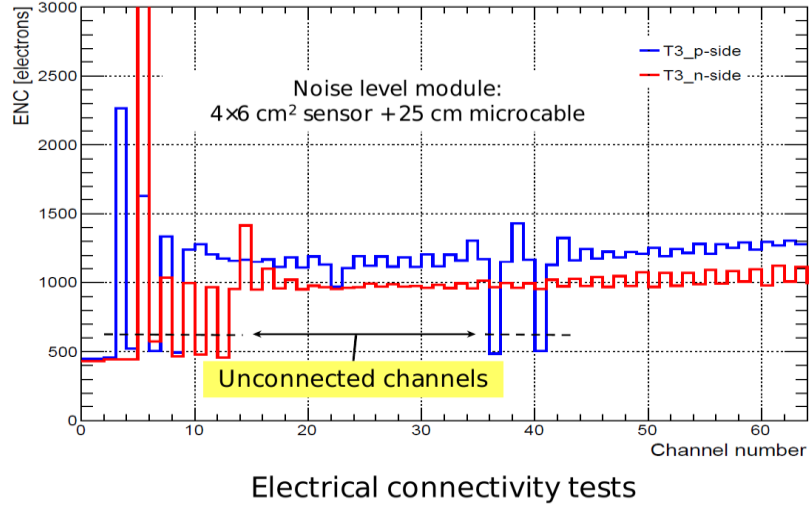


Şekil 3.33: STS-XYTER ASIC ve mikrokablo arasındaki bağlantı testi.



Şekil 3.34: STS-XYTER ASIC, mikrokablo ve dedektör arasındaki bağlantı testi.

Belirli bir çipin bağlantı kontrolü dışında, bağlı olmayan kanalların belirlenmesi tam bir dedektör modülü için gürültü testinden sonra da mümkündür. Şekil 3.35 bu ölçüm için bir örnektir ve bağlı olmayan kanallar çip seviyesinde dedektörün p ve n tarafı için kolayca görülebilir. Burada şekilde görüldüğü gibi 6,7,8,9,11,13,36 ve 41 numaralı kanallar bağlı değildir.



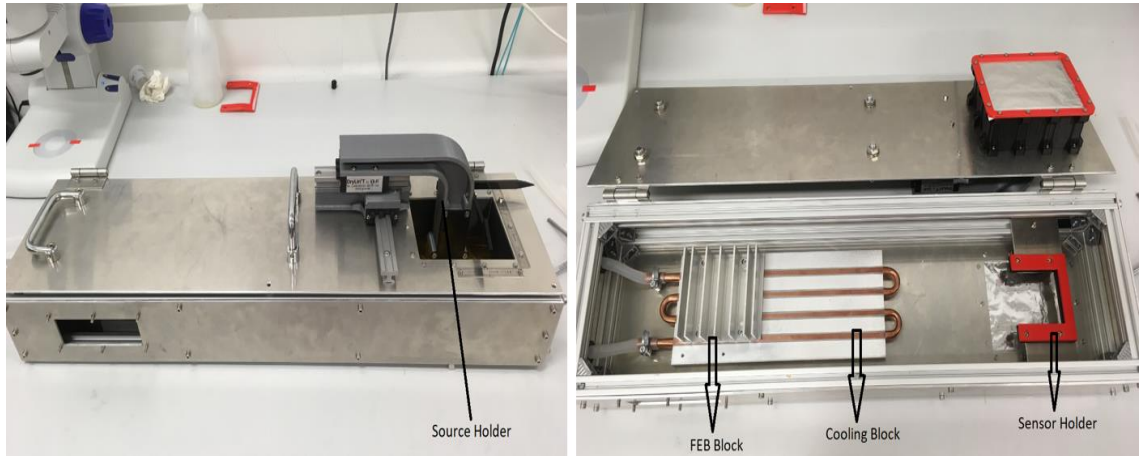
Şekil 3.35: Bir modülün p ve n tarafındaki elektriksel bağlantı testi için bir örnek.

Bununla birlikte, pogo pin iğneleri çok hassas olduğundan ölçüm sırasında bir miktar hasar görmek mümkündür. Bu nedenle pogo pin istasyonunun kullanımı sırasında çok dikkatli olunması gerekir.

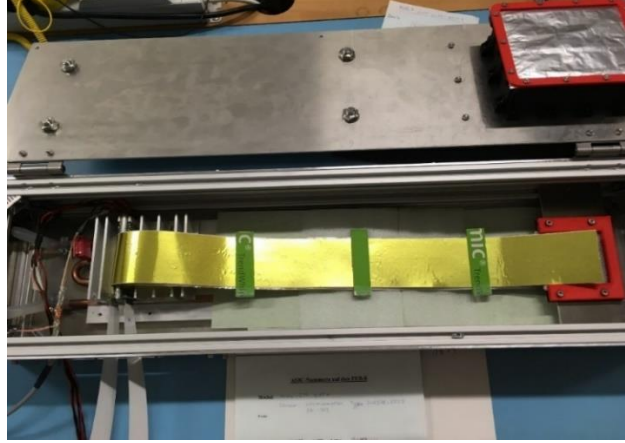
3.6.4. Mini CBM Modülleri için Test Kutusu

Test kutusu GSI Laboratuvarında mühendisler tarafından mini CBM modül testleri için tasarlanmıştır. Kutu, alüminyum dikdörtgen bir kutudur ve tüm modülün yerleştirilmesi için birkaç parçaya sahiptir. Bunlar FEB'ler için elektronik blok, soğutma bloğu ve dedektör tutucusudur. Ayrıca, kaynak ölçümleri için XY hareketli kaynak tutucusuna sahiptir. Dedektör modüllerini test etmenin amacı ASIC performanslarını, sistemin gürültüsünün yanı sıra bozuk veya bağlantısız kanalları belirlemek olduğundan, kutu FEB için bir su soğutma sistemi ile donatılmıştır ve modül için bir koruma sağlamaktadır. Bu temel sistem, modülün deneyde kullanılmasından önce kullanılmalıdır. Okuma sistemi olarak, veri toplamak ve elektrikten optiğe dönüşüm için CERN GBTX ASIC'leri kullanan ortak bir okuma kartı (C-ROB) kullanılır. Optik bağlantılar CROB'dan bir DPB'ye (AFCK) gider.

Bu ölçümler, kurulum sonrası çiplerin kalite güvencesini araştırmamıza yol açar ve böylece sonuçları pratik olarak pogo pin istasyonundan ve tüm sistemden karşılaştırabiliriz. Ayrıca modül testlerinden sonra çipler için termal hasar olasılığı FEB'leri soğutmak için bazı önkoşulları dikkate almamızı sağlar.



Şekil 3.36: Modül için test kutusu.

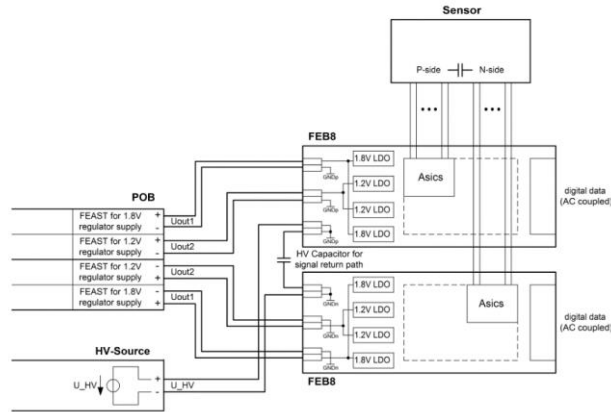


Şekil 3.37: Modül ile test kutusu.

3.6.5. Sensör Modüllerinin Çalıştırılması

8 STS-XYTER çipinin her biri 128 silikon dedektör kanallarının yük sinyallerini en fazla beş dijital veri akışına dönüştürür (şu anda FEB8'de yalnızca biri kullanılır). CERN'de geliştirilen DC/DC dönüştürücü iki FEASTMP2 modülü, güç kartlarının üzerine yerleştirilmiştir ve bir FEB8 kartına güç sağlamaya yardımcı olur. Bir dönüştürücü, 1.8V regülatörleri için giriş voltajını yaratırken, diğeri FEB8 kartının 1.2V regülatörleri için giriş voltajını oluşturur.

Ek olarak, dedektörü beslemeyi sağlamak için dedektörün n ile p tarafının topraklama hattı arasına yüksek voltaj kaynağı bağlanması gerekir. Ayrıca, iki FEB'in topraklama hattı arasına, AC sinyal akımları için düşük bir empedans dönüş yolu sağlayarak gürültüyü azalttığından, yüksek voltajlı bir kapasitör yerleştirilir [64].

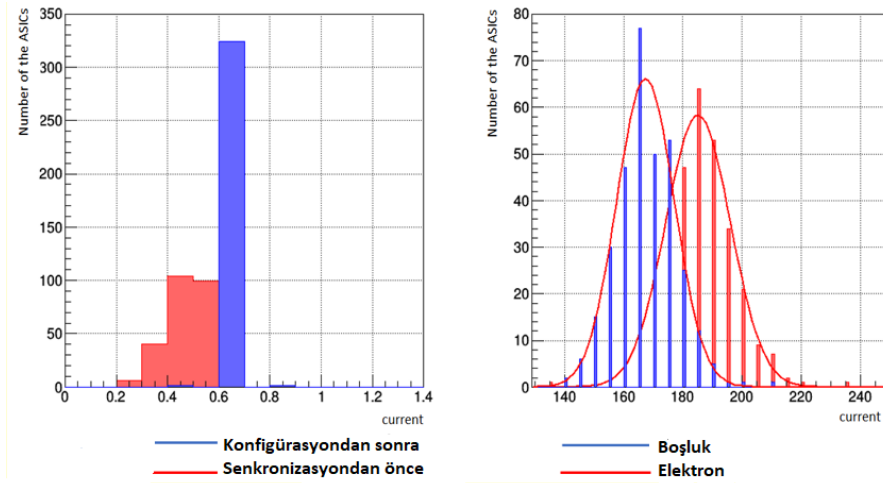


Şekil 3.38: STS modül kurulumunun şematik görünümü.

4. BULGULAR

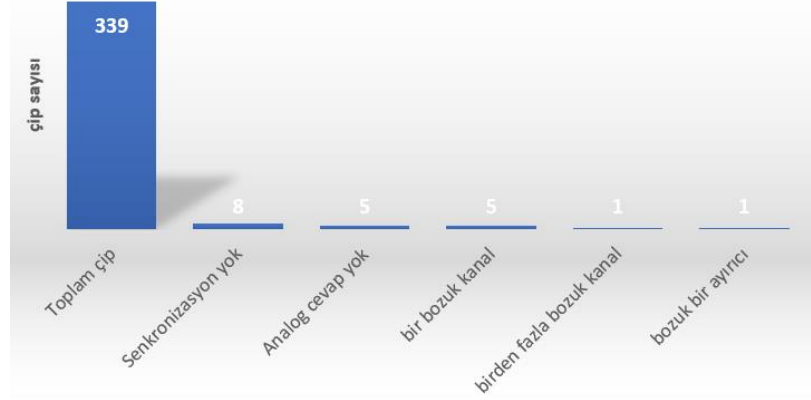
4.1.STS-XYTERV2 ASIC TEST SONUÇLARI

Toplamda 339 STS-XYTERv2 çip kalite kontrolü ve modül kurulumu için test edilmiştir. Sadece ASIC ölçümlerinin yer aldığı sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir. Soldaki ilk histogramda (a), kırmızı ile gösterilen kısım tüm çipler için senkronizasyondan önce çiplere uygulanan akımı ve mavi çizgi ile gösterilen kısım da çiplerin konfigürasyondan sonraki akımı için ölçülen değerleri göstermektedir. Senkronizasyondan önceki akım çipin çalıştırıldıktan sonraki başlangıç parametreleridir ve çipteki yaklaşık 3000 konfigürasyon bit için iyi tanımlanamamış olabilir. Konfigürasyondan sonraki akım değeri bir referans değer olarak tanımlanan 0.6A değerinde olmalıdır. Fakat konfigürasyondan sonra birkaç çipin bu değer üzerinde olduğu görülmüştür ve bu referans değerinden biraz fazladır. Bunun haricinde 339 çipten 20 tanesi bazı problemler göstermiş ve bu 20 tanesinden beş tanesinde bir tane bozuk kanal tespit edilmiştir. Fakat bu çipler istatistik içerisine katılmıştır. Geriye kalan çiplerde analog yanıtı sorunu, birkaç bozuk kanal ve senkronizasyon problemi gibi başka problemler görülmüştür (şekil 4.2). Bir tanesinde de ADC'de bir ayırıcı çalışmamaktadır. Bu nedenle, STS-XYTER çiplerin çalışma prensibini anlamak için bu histogramlar çok önemlidir ve çiplerin değerlendirilmelerini sağlar. Şekil 4.1'de sağ tarafda gösterilen histogram (b), özellikle seçilmiş bir test kanalı olan "64" numaralı kanal için ADC aralığının istatistiklerini temsil etmekte ve kırmızı çizgiler elektron konfigürasyonunu gösterirken mavi çizgiler boşluk konfigürasyonunu göstermektedir.



Şekil 4.1: Elektron ve boşluk konfigürasyonu için ASIC test sonuçları.

Ölçümler ADC için aynı referans potansiyellerinde alınmıştır. ADC aralıkları, test kanalı için ADC'deki en düşük ve en yüksek ayırıcının eşik değerlerin farkına dayanarak hesaplanmıştır. Ayrıca bozuk ASIC'ler histogramlardaki istatistiklere eklenmemiştir.



Şekil 4.2: Problemli çiplerin istatistikleri.

ADC kazanç değerlerini bu grafiklerle belirlemek mümkündür ve hem elektron hem de boşluk konfigürasyonları için parametreler LSB birimleri cinsinden belirlenmiştir. Bunlar tablo 4.1'de verilmiştir. ADC parametreleri her iki konfigürasyon için daha sonra bir kalibrasyon aralığı belirlemede kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Elektronlar ve boşluklar için ADC aralığı ve kazanç sonuçları.

	Elektronlar	Boşluklar
ADC aralığı (register value units)	187	165
ADC aralığı (mV)	92.5	83.5
Yükseltici kazancı (ADC Units/mV)	0.33	0.37

İyi kalite gösteren çipler Elektronik Kartlara (FEB) bağlanmıştır ve bu işlemten sonra tek çipli fonksiyonel FEB'ler çiplere uygulanan yöntemle tekrar test edilmiştir. Ölçümlerde iyi performans gösteren FEB'lere bağlı çipler koruma için özel bir yapışkanla kaplanmıştır. Sonuç

olarak, ölçümlerde toplamda 146 FEB içinden 138 FEB bu ölçümlerden başarıyla geçti. Sonuçlar Tablo 4.2'de görülebilir. Bununla birlikte, çiplerin elektronik devreye bağlandıktan sonraki işlevlerinde bazı farklılıklar görülebileceği tüm ölçümlerden çıkarılabilir. İlk pogo-pin testlerinin yanı sıra son FEB testlerinin de birleştirilmesiyle üretim serisinden rastgele seçilen 162 çipten 146'sının beklendiği gibi çalıştığı tespit edilmiştir. Verim yaklaşık %91 olarak bulunmuştur ve sonuçların tatmin edici yükseklikte olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 4.3: STS-XYTERv2 ile test edilmiş prototip FEB-B için bir örnek.

Tablo 4.2: FEB test istatistikleri.

Test edilen toplam FEBler	146
Problemlili Feblerin sayısı	8
- Çok yüksek akım	2
- Analog cevap yok	1
- Hızlı ayırıcı çalışmıyor	1
- Bir veya birden fazla bozuk kanal	4

4.2.MİNİ STS MODÜL KURULUMU SIRASINDAKİ TEST SONUÇLARI

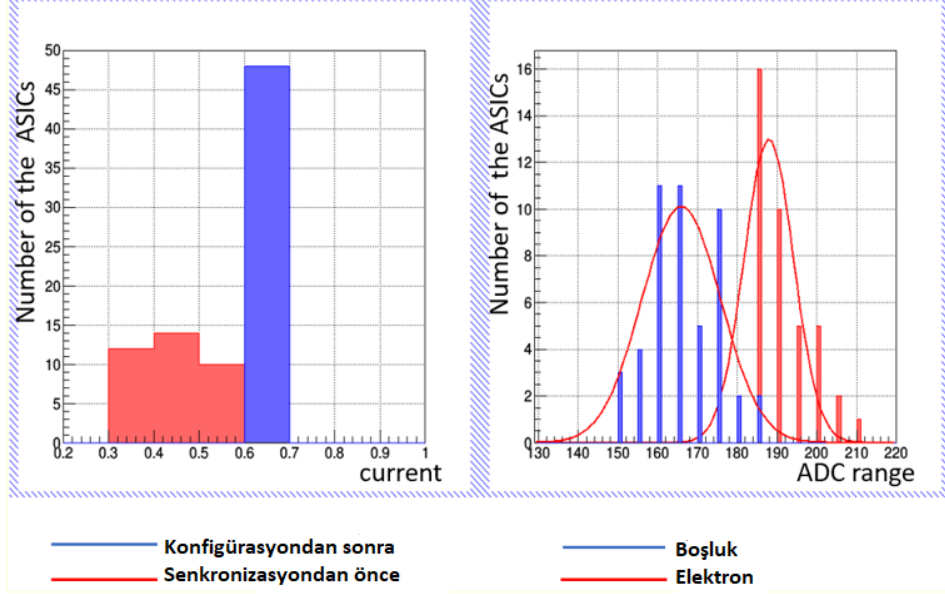
Ön testlerden sonra, mini CBM modül kurulumu sırasında ek testler de yapılmıştır. Mini CBM deneyi için 48 ASIC seçilip dört mini STS dedektör modülü (01Tr, 01Tl, 02Tr ve 02Tl) ve bir test modülü kurulmuştur. Bu modüller için çip test Sonuçları Tablo 4.3’de görülmektedir. Maalesef tüm modüller için çipler eski pogo pin istasyonundaki teknik problem nedeniyle tam olarak test edilememiş ve süreç gecikmeli olarak tamamlanabilmiştir.

Tablo 4.3: mini STS modülünün kurulumu sırasındaki ASIC testi sonuçları.

Kurulum aşaması	Test edilen ASIC sayısı	Ölçüm aleti	Test kısmı	zaman	Problemlili kanalların sayısı
Modül 01T-r	16	Pogo istasyonu	pin Elektriksel bağlantı kontrolü	5 dk	3
Modül 01T-l	8 (p-tarafı)	Pogo istasyonu	pin Elektriksel bağlantı kontrolü	5 dk	-
Modül 02T-r	16 (sadece kablolarla test yapıldı)	Pogo istasyonu	pin Elektriksel bağlantı kontrolü	5 dk	2
Modül 02T-l	16	Pogo istasyonu	pin Elektriksel bağlantı kontrolü	5 dk	-

Kalibrasyon öncesi ADC kazancı ve akım istatistikleri de Şekil 4.4 ve Tablo 4.4'te verilmiştir. Kurulum sırasında yalnızca iki modül tam olarak test edilebilmiştir ve bağlantısı olmayan kanal sayısı ise beştir. Bununla birlikte, modül 01Tl için sadece p tarafı test edilebilmiş ve modül 02Tr için ise çipler sadece mikro kablolarla bağlandıktan sonra test edilebildi. Tam bir modül için kurulum tamamlandığında, bazı çiplerden herhangi bir cevap alınamamış ve bozuk oldukları tespit edilmiştir. Bu noktada çipleri gereğinden fazla test etmenin bağlanma

bölgelerine zarar verebileceği düşünülmektedir. Bu durum FEB ve çipler arasındaki bağlantıyı da engellemektedir.

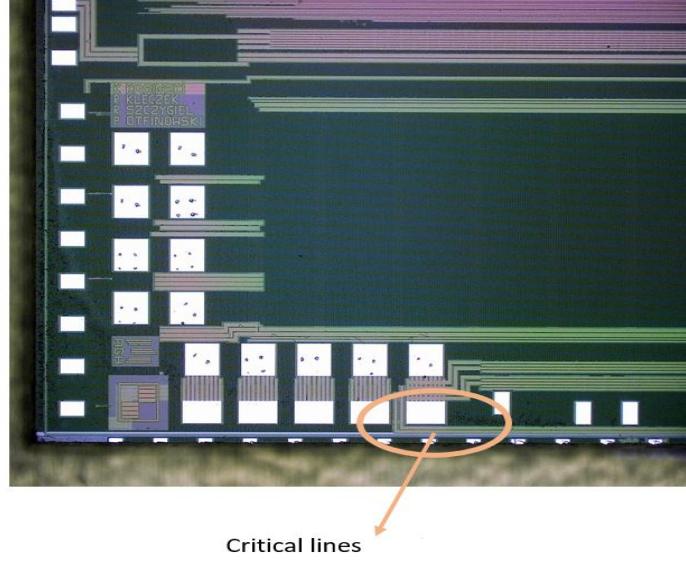


Şekil 4.4: Elektron ve boşluk konfigürasyonu için ASIC test sonuçları.

Tablo 4.4: Elektron ve boşluklar için ADC aralığı ve kazanç sonuçları.

Elektronlar			Boşluklar
ADC aralığı (register value units)	187		165
ADC aralığı (mV)	93.5		82.5
Yükseltici kazancı (ADC Units/mV)	0.33		0.37

Sonuç olarak, çiplerin beş kez test edilmesinin bağlantı bölgeleri üzerinde bir hasara yol açabileceği ve iletken hatların bağlantı yapılan alanlara yakın olmasının çiplerde bazı kısa devrelere neden olabileceği açıkça belirtilmelidir. Bu kritik nokta Şekil 4.5'de görülebilir. Kurulum sırasında yaşanan sorunların temel nedeni olarak bu problem gösterilebilir.

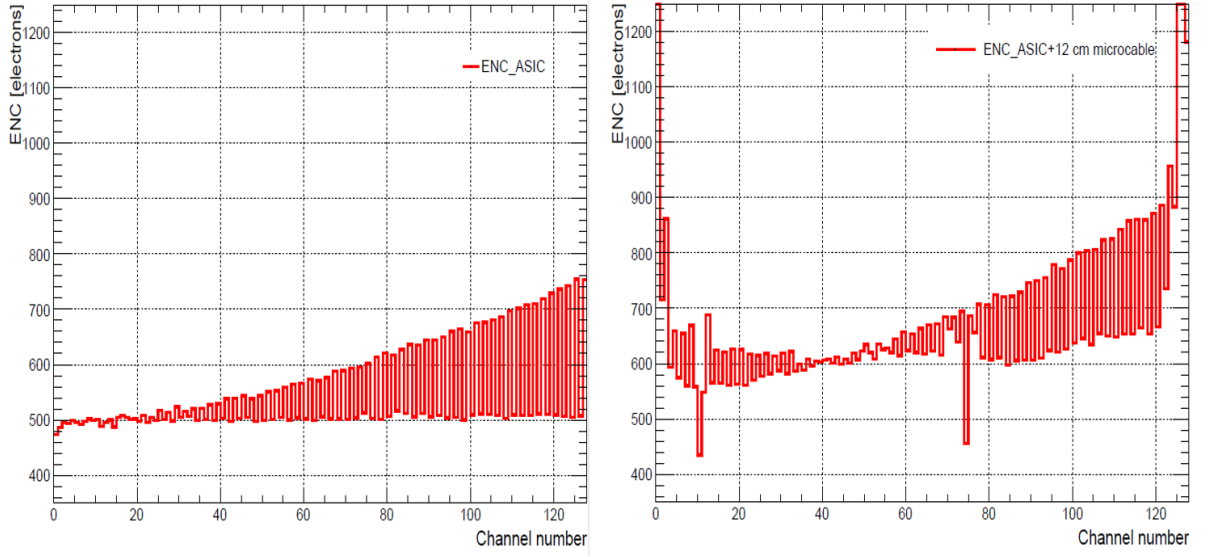


Şekil 4.5: STS-XYTER ASIC için kritik bağlantı alanı.

Bu problemi önlemek için, çipler FEB'lere yerleştirilirken Alüminyum tel bağlantısından sonra temel iletişim testi yapmak çok faydalıdır. FEB'leri okuma kartına ve düşük voltaj kaynağına bağlayarak kolayca incelemek mümkündür. İşlem, ASIC ve FPGA kartı ile arasındaki iletişimi kontrol etmek için, senkronizasyon fonksiyonunun kontrol edilmesi ve akımın ölçülmesinden oluşur. Bu testlerle hem okuma ara yüzünün uygun işlevselliğini hem de ASIC güç kaynağının çalışma durumunu görmek mümkündür.

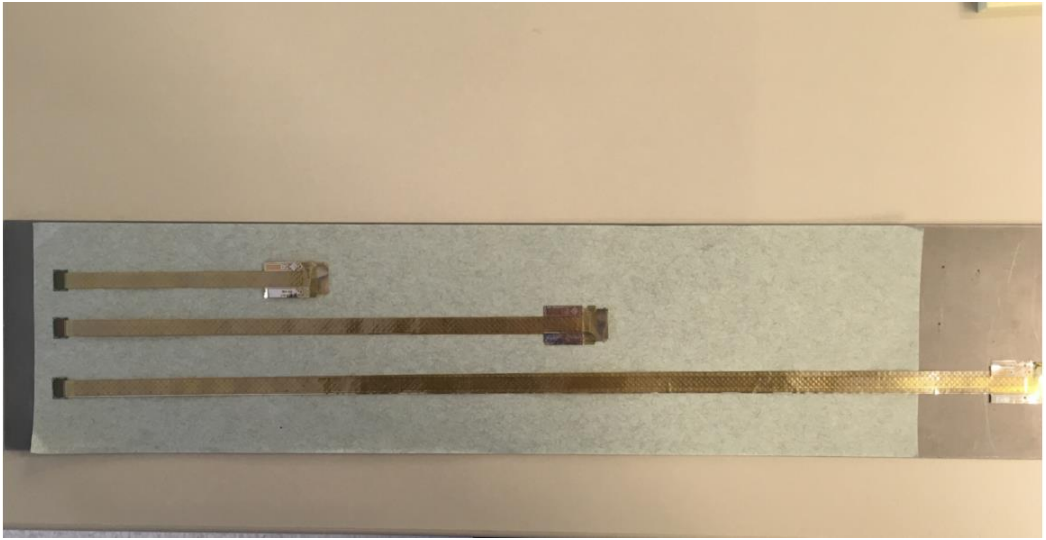
4.3.STS-XYTER ASIC İLE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ

Elektronik sistemdeki gürültü seviyesi kritik bir konudur. Kablo uzunluğu, topraklama şekli ve okuma sistemi dedektör sisteminin gürültü performansını etkileyebilir. Bu nedenle, sistem çalışmasından önce birkaç ölçüm referans olarak yapılmalıdır. İlk olarak, gürültü testi sadece çipler için yapılmış ve yapıyı netleştirmek için ayrıca farklı mikro kablolar bağlandıktan sonra da ölçümler tekrarlanmıştır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, şeklin sol tarafı (a), tek çipin gürültü ölçümünü ve sağ taraf (b), 12 cm'lik mikro kablo bağlanmış çipin gürültü sonuçlarını göstermektedir. Beklenildiği gibi kabloya bağlı olan çipin gürültüsü tek çipten daha fazladır. Ayrıca 10 ve 75 nolu kanallarda da bağlantı problemi vardır. Mikro kabloların kenar noktaları, şekilde de görüldüğü üzere yetersiz zırlama nedeniyle daha yüksek gürültü göstermektedir.

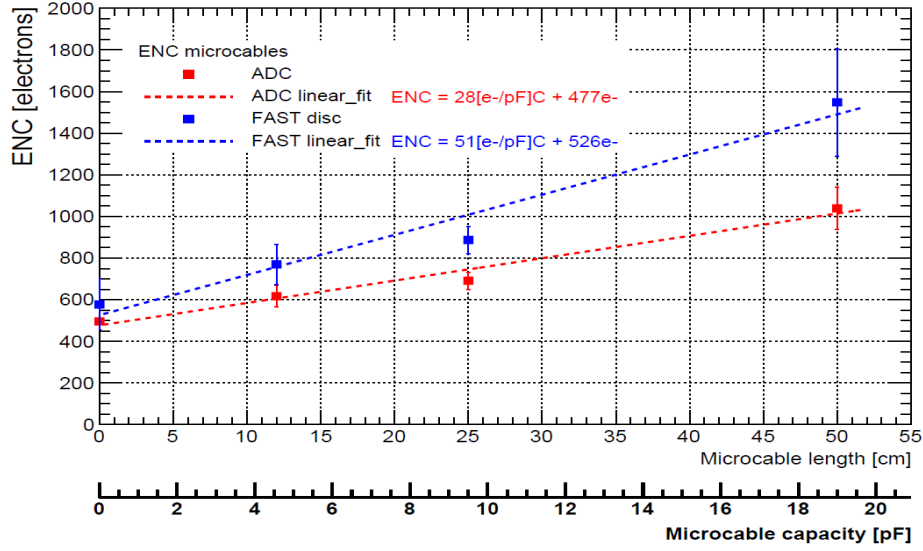


Şekil 4.6: STS-XYTER ASIC için iki farklı gürültü yapısı.

Aynı zamanda, çip için üç farklı mikro kablo uzunluğu (12cm, 25cm, 50cm) kullanılarak da bir gürültü ölçümü yapılmıştır (şekil 4.7). Şekil 4.8’de ADC ve hızlı ayırıcıdaki gürültü sonuçları kablo uzunluğuna ve kablo kapasitesine bağlı olarak ayrı ayrı verilmiştir. Sonuç olarak, uzun kablolarda daha fazla gürültü elde edilmektedir. Bu grafikte de görüldüğü üzere kablo uzunluğu arttıkça gürültü seviyesi de artmaktadır. Aynı şekilde gürültü kablo kapasitansı ile de doğru orantılıdır.



Şekil 4.7: Üç farklı mikro kablo uzunluğuna sahip çipler.



Şekil 4.8: Üç farklı mikro kablo uzunluğu için gürültü sonuçları.

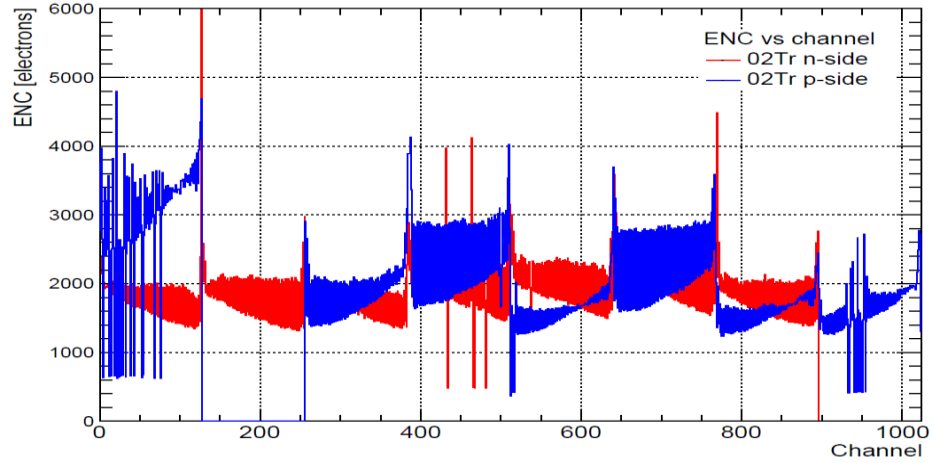
4.4.MİNİ CBM DEDEKTÖR MODÜLLERİNİN TEST SONUÇLARI

Kurulum sürecinin ardından en önemli süreç gerçek dedektör dizaynına yakın olan mini CBM modüllerini sistem performansı açısından test etmektir. Bu noktada, STS-XYTER çiplerin performansı ve modülün gürültü yapısı son derece önemlidir. Bu amaçla mini STS sisteminin dört modülü için çeşitli testler yapılmıştır. Fakat, mini STS'in ilk modülü tam olarak test edilememiş ve çipler pogo pin istasyonu eksikliği nedeniyle daha önce test edilmediğinden kalibrasyon daha sonra yapılmıştır.

Modül kurulumu sırasında çip performanslarının test sonuçlarına göre farklı olduğu görülmüştür. Bazı çipler kısa devre sorunu gösterdiğinden ve bazılarıyla iletişim kurmak da mümkün olmadığından, daha sonra 01T1 modülü yerine bir kez test edilmiş çiplerle ek modül kurulumu yapılmasına karar verilmiştir. Sistemin performansının yanı sıra veri kalitesinde de bir sınır belirlediği için elektronik sistemlerde gürültü ölçümü yapılmalıdır. Şekillerde de görüldüğü üzere, bazı çiplerin mikro kablolarla hiç bağlantısı olmadığı ve grafiklerin kenar kısmında yer alan kanalların besleme noktasından uzak olması nedeniyle daha gürültülü bir yapı gösterdiği görülmektedir. Dedektörün p ve n tarafındaki 1024 kanal için modüller 500 V besleme voltajıyla gürültü testlerine tabi tutulmuştur. Öte yandan, modüllerin gürültü performansları aşağıdaki şekillerde görülebilir. Şekil 4.9'da, gürültü performansının çok iyi olmadığı, hem n hem de p tarafındaki bir çipin öldüğü ve her iki tarafın da bağlı olmayan

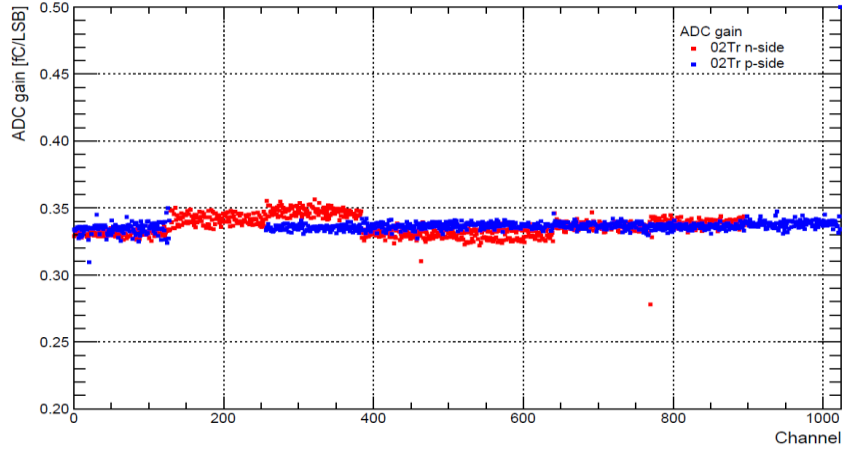
kanallara sahip olduğu açıkça görülmektedir. Kabloların kenar kısımları, çip + microcable gürültü testinde de görülen, zırlamaya bağlı bazı dalgalanmalar göstermektedir. Daha az gürültü elde etmek için, zırlama ve filtreleme gibi dedektör sisteminde bazı prosedürler uygulanmıştır.

Sistemde iki veya daha fazla cihaz olduğunda bu ölçüm doğruluğunu etkileyen bir topraklama döngüsüne yol açabilir, çünkü her bir topraklama noktasının potansiyelindeki küçük farklılıklar bir cihazdan diğerine bir akım akışı oluşturur. Bu akım, gürültü olarak bir voltaj düşüşü yaratır ve ADC deki ölçümde bir yanlışlığa yol açar. Gürültüyü azaltmak için, topraklama devreleri ortadan kaldırılmalı ve en azından cihazlardan biri kaplanmalıdır [65]. Bu nedenle mini STS sistemi FEB'den mikro kablolar ve dedektörlere kadar kaplanmıştır.

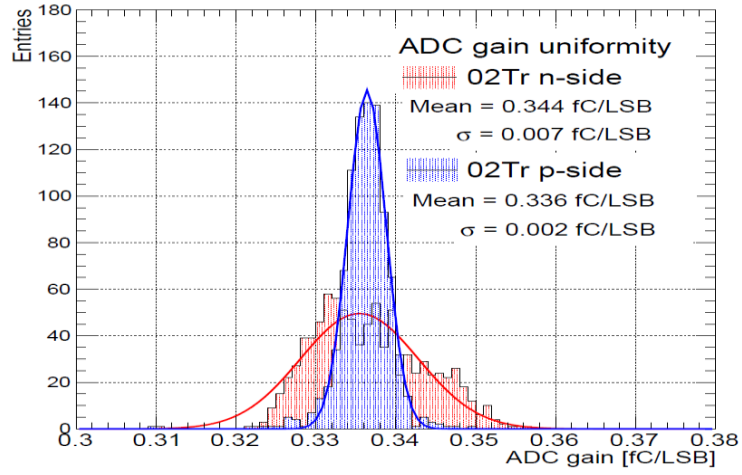


Şekil 4.9: Modül “02Tr” deki n and p tarafları için gürültü spektrumu.

Öte yandan, bahsedilmesi gereken önemli bir konu da tüm kanallar için ADC kazancıdır. Şekil 4.10 ve 4.11'de, “02Tr” modülü için ADC kazancı verilmiştir. Modülün n tarafı kazanç dağılımında daha fazla sapma gösterir, bu nedenle şekil 4.11'de p tarafında daha dar tepe noktası görülmektedir.

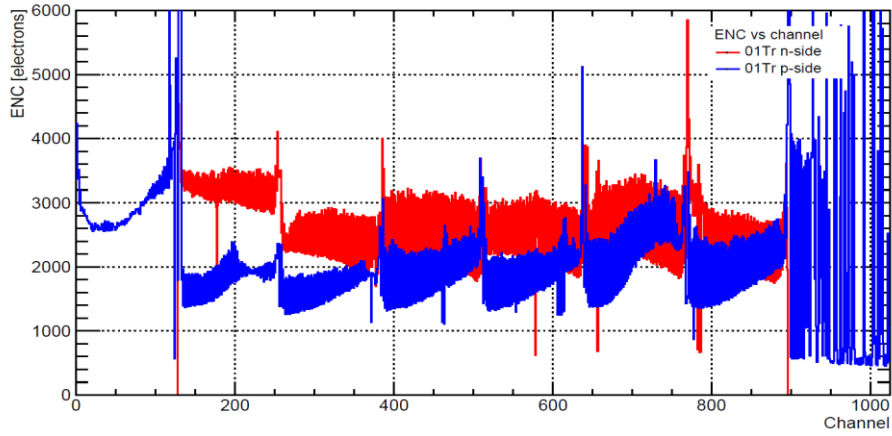


Şekil 4.10: 1024 kanal için ADC kazanç dağılımı.

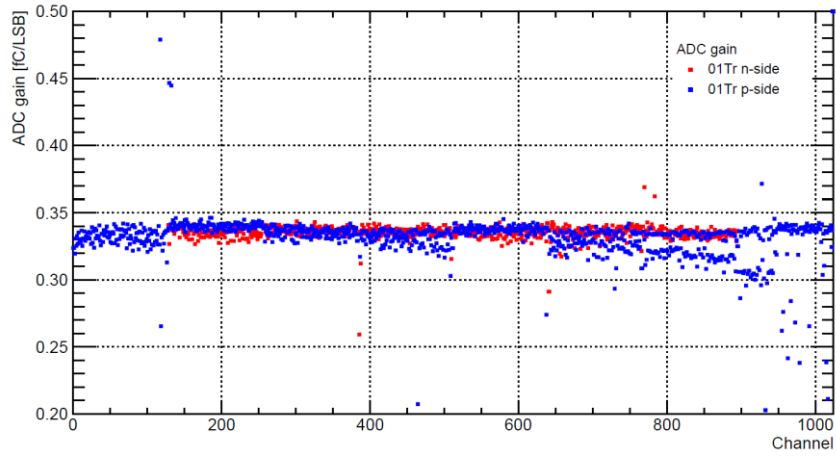


Şekil 4.11: 02Tr modülü için ADC kazancı.

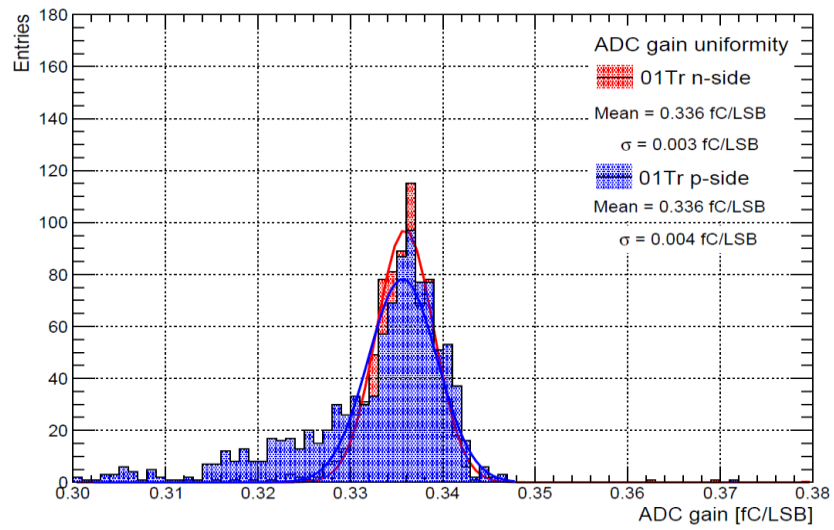
Şekil 4.12’de diğer merdivende yer alan 01Tr modülünün gürültü spektrumu görülmektedir. Aynı şekilde 4.13 ve şekil 4.14’de ADC kazançları görülmektedir. Yine bu modülde de köşe noktalarındaki çiplerin çalışma performansları çok kötüdür. ADC kazanç dağılımında da p- tarafında ortalamadan sapan değerler görülmektedir. Bu nedenle şekil 4.14’te daha yaygın bir gausyen pik görülür.



Şekil 4.12: Modül “01Tr” deki n and p kısımları için gürültü spektrumu.



Şekil 4.13: 1024 kanal için ADC kazanç dağılımı.



Şekil 4.14: 01Tr modülü için ADC kazancı.

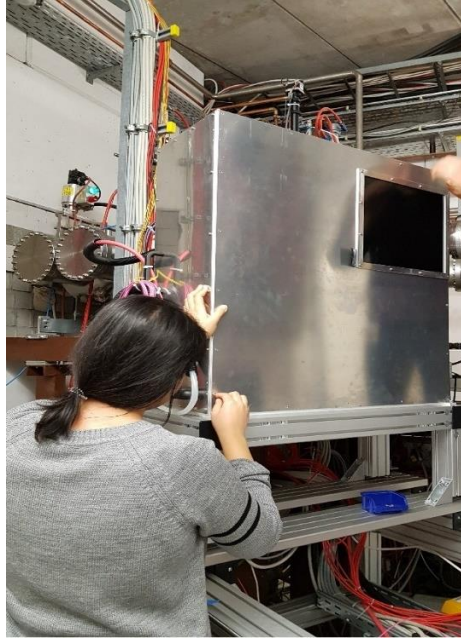
Özet olarak, dört mini CBM modülünün istatistikleri bozuk çipler, bozuk kanallar ve elektron ve boşluk konfigürasyonları için eşdeğer gürültü oranları Tablo 4.45’de gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Modül test istatistikleri.

Modül	Bozuk çipler		Bozuk kanallar		ENC (e ⁻)	
	N-tarafı	P-tarafı	N-tarafı	P-tarafı	N-tarafı	P-tarafı
01Tr	2	1	264	139	2684	2188
02Tr	1	1	133	155	1948	2078

4.5.MİNİ CBM DENEYİ İÇİN İLK SONUÇLAR

Mini CBM deneyi için İlk sistem kurulumu tamamlanıp (Şekil 4.15) yapıp ilk demet mini STS, mini MUCH, mini TOF ve T0 dedektörleri kullanılarak Aralık 2018’de alınmıştır. SIS18’de 1,2 AGeV enerjisindeki Ag (45) demet olarak kullanılmıştır. Yazılım ve dedektör sistemlerinde bazı sorunlar olmasına rağmen dedektör sistemi umut verici olarak birbiriyle uyum içinde çalışmıştır.



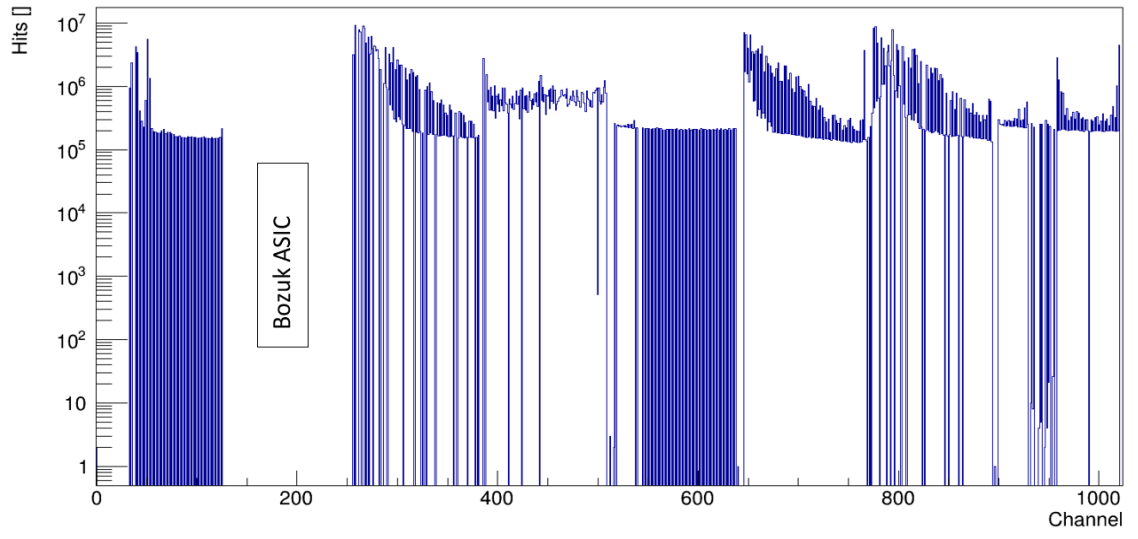
Şekil 4.15: Deney alanındaki mini STS sistemi

Mini STS örneği için, iki tane sağ oryantasyon modülü mekanik bir alüminyum çerçeve üzerine monte edilmiştir ve en uzun modül 50 cm uzunluğundaki kablolarla sahiptir. Bir prototip STS güç panosu düşük ve yüksek voltaj besleme sistemleriyle sağlanmıştır. İki modül arasında bir tarafı çalışmayan sorunlu bir FEB tespit edilmiştir. Bu modülü STS test kutusunda test edildiğinde işlevsel olmasına rağmen 01Tr modülü için veriler dedektörün sadece n tarafında alınabilmiş ve sadece 3 çip işlevsellik göstermiştir. Bu nedenle, kutudayken modülün bir termal hasar aldığı düşünülmektedir. “02Tr” modülü için p tarafı tamamen çalışır durumdaydı ve dedektörün n tarafı için 7 çip işlevsellik göstermiştir. Buna rağmen sistemde çok gürültülü bir yapı mevcuttur. Her iki taraf da çalıştırıldığında gürültü daha da arttı ve STS laboratuvarındaki test kutusundan 5 kat yüksek değer göstermiştir. Bu nedenle düzgün bir okuma sistemi elde edebilmek için ADC’lerde maksimum eşikler belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, tek ve çift kanallar arasında da bir fark gözlenmiştir. Tablo 4.6’da mini CBM deneyi sırasındaki çiplerin performansları verilmiştir.

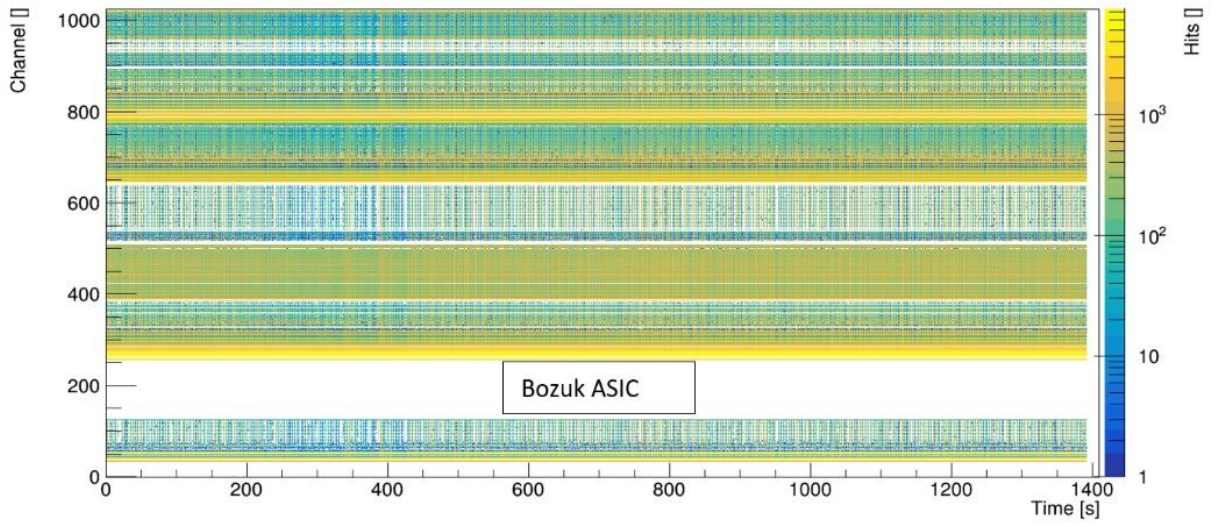
Tablo 4.6: Mini CBM deneyi sırasındaki çip fonksiyonları.

	Modül 01Tr	Modül 02Tr
n-tarafı	3 çip çalıştı	7 çip çalıştı
p-tarafı	Cevap alınmadı	bütün çipler çalışıyor

Şekil 4.16 ve 4.17, kanal başına sinyal dağılımını göstermektedir. Özellikle tek-çift kanallardaki değişim şekil 4.16’te açıkça görülebilir. 129-260 kanalları arasında, Şekil 4.17’te ayrıntılı olarak görüldüğü gibi, okunamayan bozuk bir çip tespit edilmiştir.



Şekil 4.16: Kanallardaki sinyaller.



Şekil 4.17: Zamanla karşılık kanallardaki sinyal oranları.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

CBM deneyi, gelecekte Antiproton ve İyon Araştırmaları Tesisi FAIR'in en önemli deneylerinden birisi olacaktır. CBM Deneyinin amacı yüksek enerjili nükleon-nükleon çarpışmalarını kullanarak yüksek baryon yoğunlukları bölgesinde QCD faz diyagramını keşfetmektir. CBM dedektörleri arasında Silikon İzleme Sistemi deneyin parçacık takibinde kullanılacak olan çekirdek sistemidir. Bu deneyde yüksek enerji ve ışın yoğunluğunda çalışılacağından dedektör sistemlerinden veri almak için kullanılacak elektroniklerin yüksek performanslı olması gerekir. Bu amaçla radyasyona dayanıklı STS-XYTER çipleri bu deney için özel olarak tasarlanıp üretilmiştir. Bu çiplerin karakteristik özellikleri bu tez çalışmasıyla birlikte ilk kez test edilmiştir. Bununla birlikte, CBM deneyindeki dedektör sistemleriyle ilgili bir referans çalışma olmaması nedeniyle ilk olarak sistemin prototip versiyonuyla test aşamalarının gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla sistemde yer alan her dedektör sisteminin mini versiyonları üzerinde GSI laboratuvarında çalışmalar başlatılmıştır ve ilk adım olarak dedektörlerdeki veri akışının sağlanması için özel çipler tasarlanmış ve mini STS için prototip modüllerin kurulum aşamaları büyük ölçüde tamamlanmıştır.

CBM deneyindeki en temel sistemi oluşturan STS sisteminde yer alan dedektörlerden veri akışı alınmasını sağlayan çiplerin elektronik açıdan test edilmesi ve karakterizasyonunun yapılması bu tezin ilk amacını oluşturmaktadır.

Geliştirilmiş STS-XYTER çipler, çift taraflı silikon mikro şerit dedektörlerden gelen okuma sistemi için tasarlanan özel bir elektrondur. Bu nedenle sistem entegrasyonu ve temel çip işlevleri için öncelikle bir kalite kontrol testlerini yapmak temel bir gerekliliktir. Bu testler işlem için özel olarak tasarlanan bir prototip pogo-pin istasyonu ile gerçekleştirilebilmektedir. Çalışmalarda ilk adım olarak 339 çip ve çip performansını kontrol etmeyi sağlayan prototip FEB'ler için kalite güvence testleri yapılmıştır. Bu testlerde çiplerin çalışma performansı, sinyallerden cevap alabilme oranı, akım değerleri, çip içerisindeki kanalların çalışma performansı, elektronların ve boşluklar için kalibrasyon değerleri ve son olarak çiplerin farklı kablolarla gürültü performansları incelenmiştir. Sonuç olarak yaklaşık %94 civarında bir verim elde edilmiştir ve başka çip testleri de yüksek verimle sürdürülmüştür. Bu dedektör modüllerinin ve modüllerde yer alan elektroniklerin hassas yapıları nedeniyle çalışmalar GSI'daki temiz oda laboratuvarında dikkat ve özen içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışma kapsamında gerçekleştirilen silikon mikro-şerit dedektörler ve diğer dedektör sistemleri için yapılan ölçümler hala devam etmektedir. Bu sistemlerin referans değerlerini belirlemek için elektronik sistemin çalışması, gürültü performansı ve tüm dedektör modülleri önceden incelenmiştir. Bu çalışmalarda karşılaşılan en büyük engel dedektör modüllerindeki gürültü performansı olmuştur. Gürültü ölçüm sonuçları 3000 e- değerinin altında ve p tarafı için daha kararlı olmalıdır. Bu da parçacık izleme için faydalı ancak yeterli değildir. Değerler ise olması gerekenin yaklaşık üç katı civarında bulunmuştur. Bu nedenle gürültü değeri azaltılması gerekliliği sonucuna varılmıştır. Bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda amaç gürültüyü 2000 e- değerinin altına çekmektir.

Mini CBM için ilk demet Aralık 2018'de GSI'da SIS18 hızlandırıcısından alınmıştır. İlk sonuçlar da dedektör sistemlerinin hala gürültü açısından bazı iyileştirmelere ihtiyacı olduğunu teyit etmektedir. Deneydeki gözlemlerin sonucu olarak STS dedektör modüllerinde verilerin okunmasını sağlayan bölüm için fazladan zırhlama eklenmesi ve ayrıca deney çerçevesine iki modül daha eklenmesine karar verilmiştir. Bundan sonraki süreçte her yıl dedektör modülleri artırılarak deneysel veriler alınmaya çalışılacak ve böylece birden fazla sistemin çalışma prensibi üzerinde daha fazla bilgi sahibi olunacaktır.

2024 de yapılması planlanan CBM deneyine en iyi simülasyonları uygulamak için dedektör modüllerinde ileri çalışmalar günden güne geliştirilmekte ve incelenmektedir. Bu deneye ek olarak diğer çalışmalar da aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- mini CBM dedektör sisteminin kurulumu dedektör ve elektroniklerin testlerinin yanı sıra test modüllerinin kurulumu ile de büyük ölçüde tamamlanmıştır.
- CBM Deneyi için test aşamaları devam etmekte olup sistem kurulumunun 2022 yılında tamamlanması öngörülmektedir.
- Asıl deney 2024 yılında başlayacaktır. Buna ek olarak mini CBM deneyi de ön aşama olarak planlanmıştır. Mini CBM deneyi, GSI'nin SIS18 hızlandırıcısı koşulları altında dedektör testinin, veri toplama ve analiz bileşenlerinin tam işlevsellik performansını tanımlamak için üretilmiştir ve CBM deneyinin bir test kurulumudur.
- Bu deneyde kullanılan elektronikler ve dedektör sistemlerine benzer sistemler şu an bazı gruplarca çalışılsa da yaklaşık 896 dedektör modülünün kurulumu ve çalışma performansının

her yıl biraz daha geliştirilmesi bu tarz sistemlerle çalışmak isteyenler için de öncü bir referans olacaktır.

- CBM Deneyinin gerçekleştirilmesiyle birlikte big bang olayında maddenin yapısını inceleyecek olan büyük çaplı ve kompleks dedektör sistemlerine bir yenisi daha eklenecek ve uzun zamandır yapılan çalışmalara daha ayrıntılı bir bilgi akışı sağlayan ilk sistem olacaktır.

CBM deneyi gibi çoklu dedektör bileşenlerinden oluşan bir sistemi tam performansla çalıştırabilmek için öncesinde prototip sistemlerin karakterizasyonu gerekli bir adımdır. Bu tezde de deneyin ana dedektör sistemini oluşturan STS sisteminin prototipinin kurulum aşamaları verilmiştir. Bununla birlikte elektronik kısımda en önemli parçayı oluşturan ve silikon mikro-şerit detektörlerden veri alımını sağlayan en önemli parçayı oluşturan STS-XYTER çiplerinin karakterizasyonu çalışılmıştır. CBM deneyinin tam performansla gerçekleştirilebilmesi ve ayrıca deneyde karşılaşılabilecek problemler hakkında bir ön tecrübe kazanılması için bu test aşamalarının gerçekleştirilmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1]. <https://www.gsi.de/en/start/news.htm>, [Ziyaret tarihi: 20 Mart 2019].
- [2]. FAIR, 2013, FAIR status, FAIR_Broschuere_autumn2013_V3_72dpi.pdf.
- [3]. The CBM Collaboration, June 19th, 2017, *mCBM@SIS18, A CBM full system test-setup for high-rate nucleus-nucleus collisions at GSI/FAIR, Beamtime Application*, CBM SVN 7729.
- [4]. Friman, B., Höhne, C., Knoll, C., Leupold, S., Randrup, J., Rapp, R., Senger, P., 2011, *The CBM physics book*, Lect.Notes Phys. 814 (2011), 1-980.
- [5]. HusHNuD., 2015, *Performance study of MUCH (detector) of CBM experiment at FAIR*, Thesis (PhD), Aligarh Muslim University.
- [6]. The compressed baryonic matter experiment, <https://fair-center.eu/for-users/experiments/nuclear-matter-physics/cbm/introduction.html>, [Ziyaret Tarihi 25 Şubat 2018].
- [7]. Herrmann, N., 2017, *Status of the compressed baryonic matter (CBM) experiment at FAIR*, GSI, CBM Progress Report, GSI, ISBN 978-3-9815227-5-4, 1-3.
- [8]. Senger, P., 2006, The CBM experiment at FAIR, *Journal of Physics: Conference Series* 50, 357–360.
- [9]. Akishina, V., 2016, *Four-dimensional event reconstruction in the CBM experiment*, Thesis (PhD), Goethe-University.
- [10]. The CBM collaboration, 2004, *Letter of intent for the CBM experiment at the future accelerator facility in Darmstadt*, Lecture note, GSI.
- [11]. Moser, H.G., 2009, Silicon detector systems in high energy physics, *Progress in Particle and Nuclear Physics* 63, 186-23.
- [12]. Senger, P., 2017, *The superconducting dipole magnet – Summary*, CBM Progress Report, GSI, ISBN 978-3-9815227-5-4.
- [13]. Krebs, E., 2016, *Application of the CBM micro vertex detector for dielectron analysis*, Thesis (PhD), Goethe-University.
- [14]. Riesen, C., 2016, *Development of a reflection measurement for the mirrors of the CBM RICH detector*, Thesis (MSc), Justus-Liebig University.
- [15]. Heuser, J., Müller, W.F.J., Pugatch, V., Senger, P., Schmidt, C.J., Sturm, C., Frankenfeld, U., 2013, *Ring imaging cherenkov (RICH) detector*, Technical Design Report for the CBM, GSI, ISSN 0171-4546.
- [16]. Chattopadhyay, S., Viyogi, Y., P., Senger, P., Müller, W. F. J., Schmidt, C. J., 2015, *Muon chambers (MuCh)*, Technical Design Report for the CBM.

- [17]. Tanha, M., 2017, *Prototype developments and performance studies for the CBM-TRD*, Thesis (PhD) Thesis, Goethe University.
- [18]. Tischler, T., 2015, *Mechanical integration of the micro vertex detector for the CBM experiment*, Thesis (PhD), Goethe University.
- [19]. Guber, F., Selyuzhenkov, I., 2015, *Projectile spectator detector (PSD)*, Technical Design Report for the CBM.
- [20]. Herrmann, N., 2014, *Time-of-Flight system (TOF)*, Technical Design Report for the CBM.
- [21]. Heuser, J., Müller, W., Pugatch, V., Senger, P., Schmidt, C. J., Sturm, C., Frankenfeld, U., 2013, *Silicon tracking system*, Technical Design Report for the CBM.
- [22]. Schmidt, H. R., 2017, *Silicon tracking system–summary*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), ISBN 978-3-9815227-5-4, 16-17.
- [23]. Senger A., *Design simulations of beam pipe and radiation studies for the CBM experiment*, CBM-TN-18001 Notes.
- [24]. Schmidt, H.R., et.al., 2016, *Silicon tracking system-summary*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN: 978-3-9815227-4-7, 20-21.
- [25]. Sorokin, I., 2013, *Characterization of silicon microstrip sensors, front-end electronics, and prototype tracking detectors for the CBM experiment at FAIR*, Thesis (PhD), Frankfurt University.
- [26]. Heuser, J.M., 2016, *Status of micro-strip sensor development for the CBM silicon tracking system*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN: 978-3-9815227-4-7, 22.
- [27]. CiS forschungsinstitut für mikrosensorik GmbH, <http://www.cismst.de/en/>, [Ziyaret tarihi: 25 Mart 2019].
- [28]. Hamamatsu photonics K.K., <http://www.hamamatsu.com/eu/en/index.html>, [Ziyaret tarihi: 25 Mart 2019].
- [29]. Bertini, O., et al., 2019, *Production readiness review for the silicon sensors of the CBM silicon tracking system*, *CBM Technical Note*, CBM-TN-18010.
- [30]. Freyermuth, O., 2012, *Development of a dead time measurement system for the compass experiment using FPGA technology*, Thesis (MSc), Friedrich-Wilhelms University.
- [31]. Lippmann, C., 2012, *Particle identification*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 666, 148–172.
- [32]. Becker, J., 2010, *Signal development in silicon sensors used for radiation detection*, Thesis (PhD), Hamburg University.
- [33]. Sandilya, S., 2010, *Experimental project report on characterization of single sided silicon microstrip detector*, Mumbai, Tata Institute of Fundamental Research Mumbai 400 005.

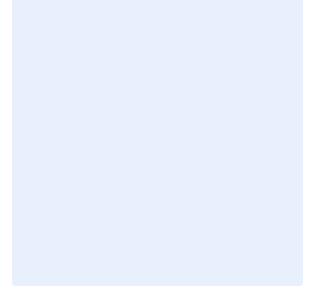
- [34]. Garbolino, S., 2011, *Integrated front-end electronics for high precision timing measurements with radiation detectors*, Thesis (PhD), Turin University.
- [35]. Frass, W., 2009, *C4: particle physics major option particle detectors*, Lecture Notes, Oxford Physics.
- [36]. Grybos, P., 2012, *Front-end electronics for multichannel semiconductor detector systems*, EuCARD Editorial Series on Accelerator Science and Technology, WUT Publishing, Poland, ISBN: 978-83-7207-890-2.
- [37]. Aziz, T., 2014, Design, fabrication and characterization of the first AC-coupled silicon microstrip sensors in India, *Journal of Instrumentation*, 9.
- [38]. Hernandez, R.M., 2012, *Design, development and implementation of a readout system for microstrip silicon sensors upgrade for test beam measurements*, Thesis (PhD), Valencia University.
- [39]. The MIP halbleiterlabor research activities, <https://www.hll.mpg.de/graphics/MPI-HLL-brochure07b.pdf>, Max-Planck Institute.
- [40]. Friedl, M., 2001, *The CMS silicon strip tracker and its electronic readout*, Thesis (PhD), Vienna University of Technology.
- [41]. Momot, I., Teklishyn, M., Lymanets, A., Bertini, O., Heuser, J., 2018, Investigation into the charge collection efficiency of prototype microstrip sensors for the CBM silicon tracking system, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1024 012004.
- [42]. Borshchov, V. M., 2016, *Silicon tracking system – pre-series production of ultra-light microcables for STS detector modules at LTU Ltd*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN: 978-3-9815227-4-7,41.
- [43]. Panasenko, I., et.al., 2016, *Microcable quality assurance: capacitance measurements*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN: 978-3-9815227-4-7,46.
- [44]. Borshchov, V.M. et al., 2017, *Towards production of ultra-light microcables for the STS detector modules*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN 978-3-9815227-5-4.
- [45]. Kasinski, K., Zubrzycka, W., 2016, Test systems of the STS-XYTER2 ASIC: from wafer-level to in-system verification, Proc. SPIE 10031, *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016*, 100313N.
- [46]. Kasinski, K., Kleczek, R., Szczygiel R., 2016, Front-end readout electronics considerations for silicon tracking system and muon chamber, *Journal of Instrumentation*, 11.
- [47]. Kasinski, K., Szczygiel, R., Otfinowski, P., Kleczek, R., Zubrzycka, W., 2016, *Testing and diagnostic features of the STS/MUCH-XYTER2 ASIC*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN: 978-3-9815227-4-7,46.

- [48]. Fast comtec GmbH, <https://www.fastcomtec.com>, [Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2019].
- [49]. Why use charge sensitive amplifiers, <http://www.cremat.com/why-use-csps>, [Ziyaret tarihi: 24 Mart 2019].
- [50]. Kleczek, R., Kasinski, K., 2016, A flexible, low-noise charge-sensitive amplifier for particle tracking application, *2016 MIXDES-23rd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*, Poland, ISBN: 978-83-63578-09-1, 124.
- [51]. Kasinski, K., et al., 2014, STS-XYTER, a high count-rate self-triggering silicon strip detector readout IC for high resolution time and energy measurements, *2014 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)*, Poland, IEEE, ISBN: 978-1-4799-6097-2.
- [52]. Kleczek, R., Grybos, P., Szczygiel, R., 2014, Low power analog readout front-end electronics for time and energy measurements, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A748(2014), 54–60.
- [53]. Kasinski, K., et al., 2018, Characterization of the STS/MUCH-XYTER2, a 128-channel time and amplitude measurement IC for gas and silicon microstrip sensors, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A 908 (2018),225-235.
- [54]. Frankenfeld, U., Schmidt, H.R., Simons, C., Vasylyev, O., Visinka, R., 2017, *STS ladder assembly concept and tool*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN 978-3-9815227-5-4.
- [55]. Loizeau, P.A.,2014, *Development and test of a free-streaming readout chain for the CBM time of flight wall*, Thesis (PhD), Ruperto Carola University.
- [56]. Lehnert, J., 2018, Readout concept for the STS, *CBM Technical Note*, GSI, CBM-TN-18012.
- [57]. Simon, C., Visinka, R., 2019, The assembly of the STS-sensor-modules at GSI, *CBM Technical Note*, GSI, CBM-TN-18005.
- [58]. Dogan, M., 2017, Full size assembly of a CBM double sided silicon micro strip detector module and in-beam tests, *Internship and Training Project Report*, GSI, Germany.
- [59]. Simons, C., et al., *Test sockets for quality measurements during the CBM-STs module assembly*, CBM progress report, In: Fries V. (ed.), In: Toia A. (ed.), In: Sturm C. (ed.), GSI, ISBN 978-3-9815227-3-0, 39.
- [60]. Kasinski, K., 2012, *Multichannel integrated circuits for silicon strip detectors readout with timestamping and amplitude pulse measurement*, Thesis (PhD), AGH University of Science and Technology.
- [61]. Spieler, H., 2005, *Semiconductor detector systems*, Oxford University Press, Great Britain, ISBN 0–19–852784–5.

- [62]. Rodriguez, A.R., Lehnert, J., 2017, 2017, *STS-XYTER v2 ASIC calibration procedures for ADC and Fast discriminator*, CBM Progress Report, In: Selyuzhenkov C.R. (ed.), In: Toia A. (ed.), GSI, ISBN 978-3-9815227-5-4, 27.
- [63]. Frankenfeld, U., Mehta S., Vasylyev, O., 2018, STS Ladder Assembly, *CBM Technical Note*, CBM-TN-18011.
- [64]. Koczon, P., Kapell, R., 2018, CBM-STs Powering concept and consequences for system integration, *CBM Technical Note*, CBM-TN-1800x.
- [65]. Lekas, S., 1997, *Signal conditioning & PC-based data acquisition handbook*, Iotech Inc, United States, ISBN-10: 0965678903.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Merve DOĞAN
Doğum Yeri	Fatih/İSTANBUL
Doğum Tarihi	22.02.1990
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	mrv.dogan@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	06.07.2012

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Nükleer Fizik Programı

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Nükleer Fizik Programı

Makale ve Bildiriler

Makaleler

Dogan, M., Ganioglu, E., Sahin, L., Hafizoglu, N., 2018, Investigation of radon concentrations in some reservoirs, spring and tap waters in İstanbul, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 135, 653-660.

Bildiriler

Dogan, M., 5-7 March 2019, Quality Assurance Tests of The STS Read-out Electronics for The CBM Experiment, *5th Annual MT Meeting*, Jena/Germany.

Dogan, M., 05-09 Eylül 2018, STS-XYTERv2 and Prototype FEB-B Tests for The CBM Silicon Tracking System, *Türk Fizik Derneği 34. Uluslararası Fizik Konferansı*, Bodrum.

Dogan, M., 12-14 June 2018, STS-XYTERv2 and Prototype FEB-B Tests for The

- CBM Silicon Tracking System, *4th Annual MT Meeting*, Berlin.
- Dogan, M., 01-05 October 2018, STS-XYTERv2.0 Testing, 32st CBM Collaboration Meeting, GSI/Germany.
- Dogan, M., 10-17 July 2016, Pixe Technique in Experimental Studies, *9th International Balkan School on Nuclear Physics*, Romania.
- Dogan, M., 21-24 Temmuz 2014, PIXE Deney Tekniği, *Türk Fizik Derneği 31. Uluslararası Fizik Konferansı*, Bodrum.
- Dogan, M., 2013, Properties of Gamow Teller Transitions, *10th International Student Conference of The Balkan Physical Union*, İstanbul.
- Dogan, M., 05-08 Eylül 2012, Proton Tedavisi Teknikleri, *Türk Fizik Derneği 29. Uluslararası Fizik Konferansı*, Bodrum.