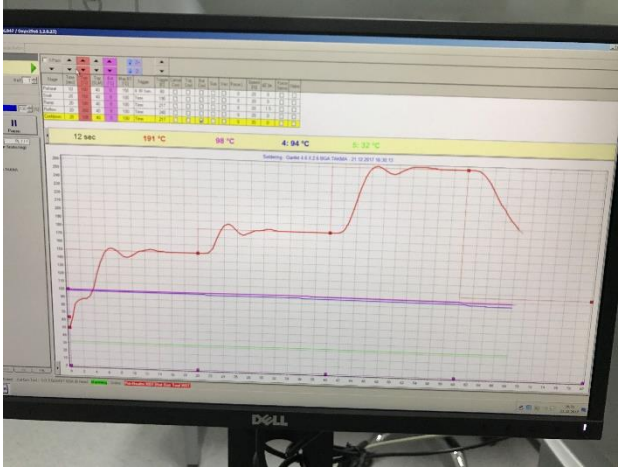
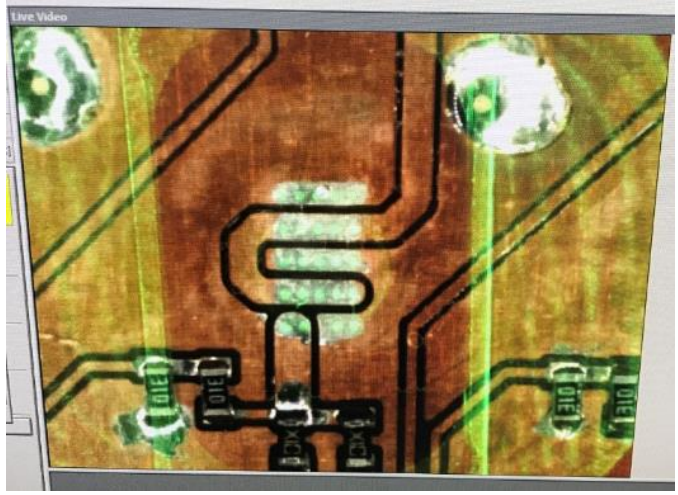
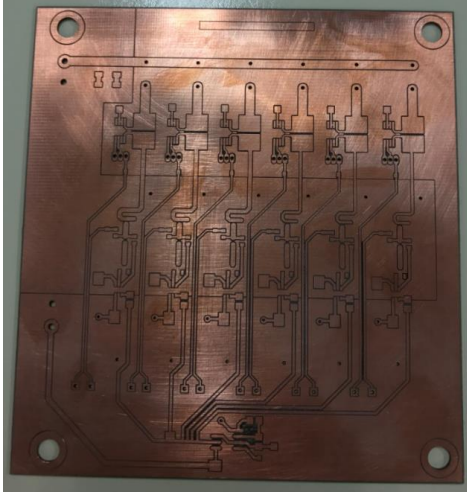


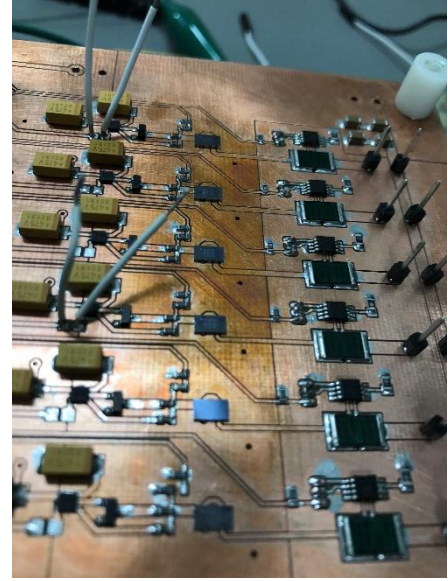
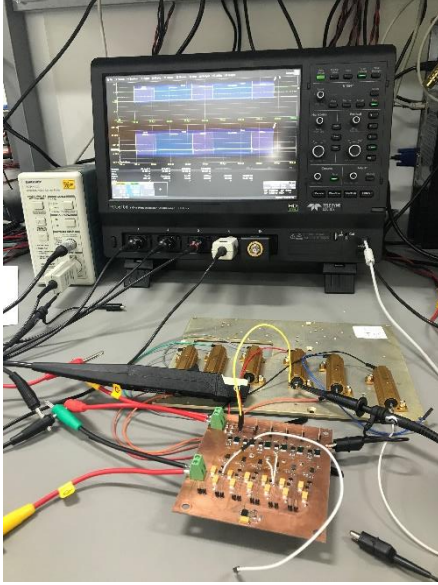
Bu dokümanda, EPC2014 GANFETleri için, Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda yaptığımız SEE (Single Event Effect) teslerini Teste hazırlık süreci ve Test Süreci olarak kısaca özetleyeceğim.

### Hazırlık Aşaması:

Öncelikle 6 kanalda anahtarlama yapacak bir devre tasarlayıp, kazıma yöntemi ile iki yüzü bakır olan bir kart ürettik. GANFET'lerin lehimlenmesi aşağıda gösterildiği gibi, Xray ile lehim toplarını görüp uygun sıcaklık profilini girebildiğimiz bir makine ile yapıldı.

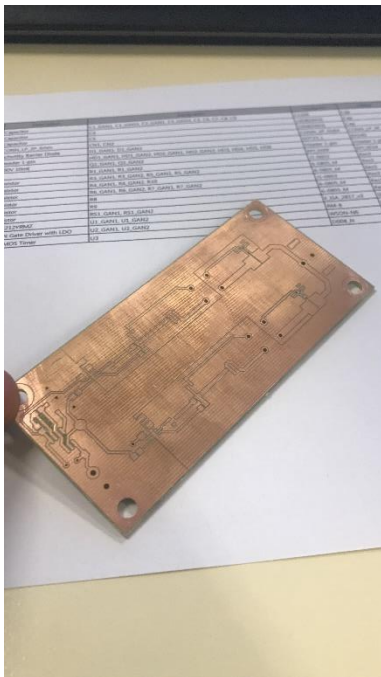


Üretimi tamamlanan kartı test ederken birçok problem yaşadım. Akım ölçümü ve gerilim ölçümü devrelerinde problemler vardı onlar çözüldü. Kapasitörlerden kaynaklı problemler çözüldü. Bu esnada birçok defa Gate driver IC yandı yenisi ile değiştirildi. Sonuç olarak 6 kanaldan 5 inin sağlıklı bir şekilde çalıştığı bir hale geldi.



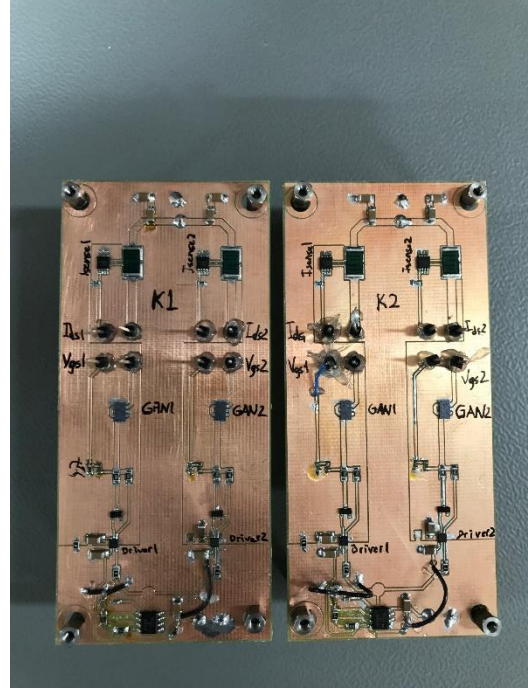
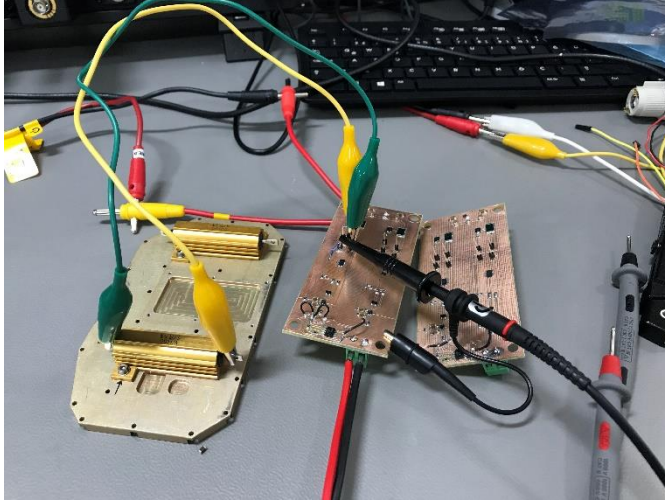
ODTÜ-SDH ile yaptığımız görüşme sonucu bakırın yarılanma ömründen dolayı radyasyon uygulandıktan sonra çok uzun süre odaya girilemeyeceğini öğrendik. Ayrıca 1Msample/second ile veri kaydetmeyi planlıyordum. 5 kanaldan 10 ölçüm almam bu hızda mümkün olmayacaktı. Ayrıca aynı anda maksimum 4 adet ölçüm alabilecektik. Tüm bunları değerlendirdiğimizde yeni bir kart üretmeye karar verdik ve radyasyon testini de buna göre planladık.

2 kanalda anahtarlama yapıp, aynı anda 4 adet ölçüm verecek yeni 2 adet kart ürettik. 2 adet kart üretmemin sebebi daha fazla örneği teste sokup daha güvenilir sonuç almak. Bu kartı, önceki kartta yaşadığım problemlerin çözülmüş halindeki konfigürasyonda tasarladım. Bakırın yarılanma ömründen dolayı bu kartı tek yüzü bakır, diğer yüzünde bakır olmayacak şekilde ürettik.





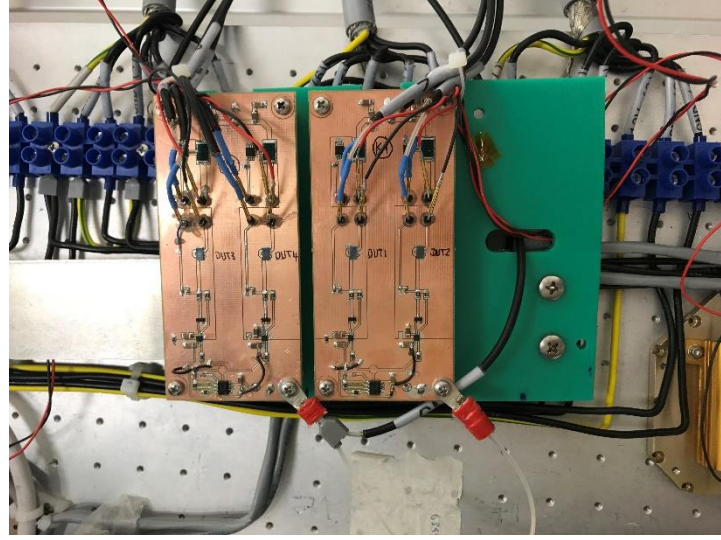
Radyasyonun atıldığı homojen bölgeye göre boyutları belirledim. Akım okuma ve sürücü entegrelerini GANFETlerden uzakta olacak şekilde yerleştirdim. Bu kart ile de uzun süre problem yaşadım. Birçok defa hem ICler hem GANFETler XRAY ile kontrol edilerek yenileri ile değiştirildi. Kartın temel problemi Grounding problemiymiş. Fark etmem çok uzun sürdü. O problemin ve çözümünü de ayrı bir dokümanda yazmak gerekiyor.



Sonuç olarak, Radyasyon testlerine girmek üzere, her birinden  $I_{ds}$ ,  $V_{gs}$  ölçümlerini aldığımız, üzerinde 2şer adet GANFET bulunan 2 adet kart çalışır hale getirildi.

### TEST Süreci

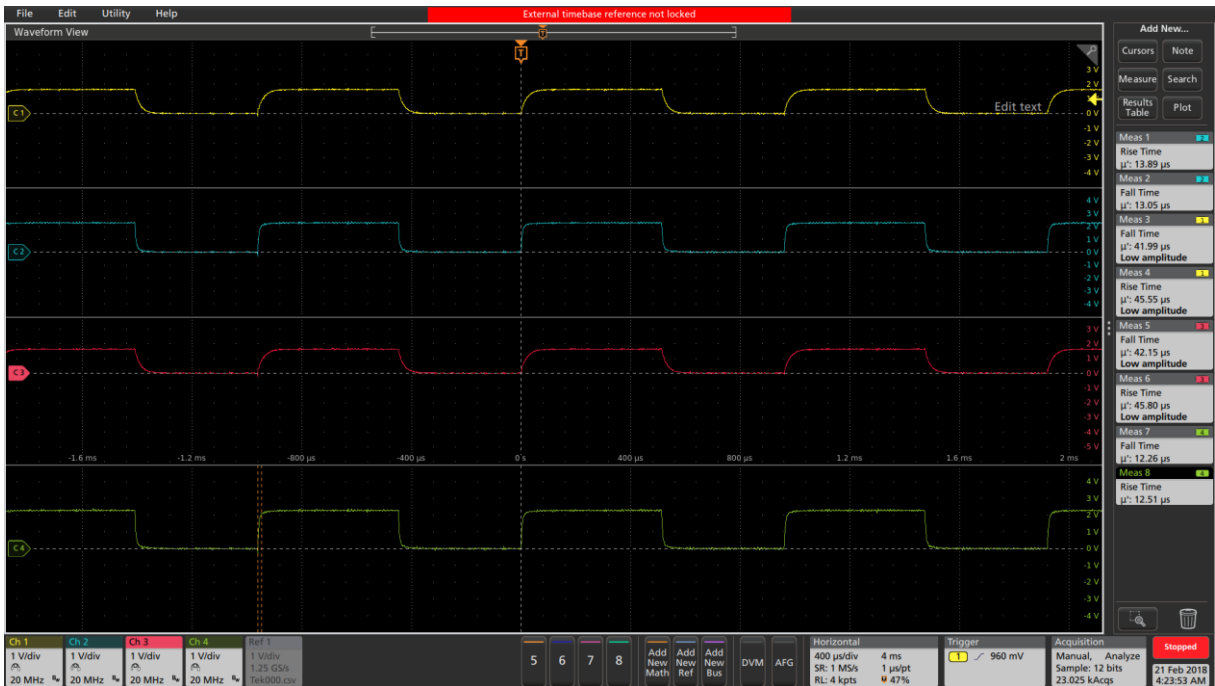
Radyasyon demetinin karta verildiği oda ile ölçümlerin alındığı oda arasında yaklaşık 25-30 metrelik kablo ile analog bilgi aktarımı yapacaktık. 1 saatlik süre içinde 2 kartı da ayrı ayrı radyasyonlayıp ölçümleri scope yardımıyla kontrol edecektik. Bunun için radyasyon demetinin homojen olarak geldiği yaklaşık 6x8 cmlik bir alanda, protonların yalnızca GANFETlere ulaşabileceği 3x1cm boyutlarında açık penceresi olan bir kalkan ODTÜ-SDH tarafından üretildi. X-Y düzleminde hareket edebilen, kartları tutan taşıyıcı mekanizma sayesinde ilk kart ışınlandıktan sonra diğeri bu pencereye taşınacaktı. Kartların monte edileceği taşıyıcı aparat tasarlandı.



Işınlamadan önce beklemediğimiz bir şey oldu. 30 metrelik kablo üzerine aşırı şekilde gürültü biniyordu. Test odasından ölçüm odasına gelene kadar sinyal aşırı şekilde bozuluyordu. Hem 50Hz frekansı hem de 2V peak-peak seviyesinde yüksek frekans ölçüm sinyaline biniyordu. Ölçüp aktardığım sinyal zaten 3 Vpeak seviyesindeydi. Ölçüm aldığımız sinyal mantıklı bir şey ifade etmediği için testi durdurduk ve o gün yapmamaya karar verdik. Ben Enstitüde 25 metrelik shieldsız kablo üzerinden aktarmayı denemiştım ve tatmin edecek şekilde aktarıyordu. TAEK'te shieldli kablo kullanmamıza rağmen bu problemi yaşadık. Testleri daha ileriki bir tarihe erteledik.

Daha ileriki bir tarihte problemi çözmek üzere tekrar toplandık. Bu sefer AWG kablo yerine COAX kablo kullanmayı denedik. Problemi bu şekilde çözdük. Test odasından ölçüm odasına gelen sinyaller gürültüsüzdü.

Test öncesi KART-1 E ait Ids1, Ids2, Vgs1, Vgs2 sinyalleri:



Test Planını řu şekilde yaptım:

Kart1 ve Kart2deki (4 adet GANFET'e ait)  $I_{ds}$  ve  $V_{gs}$  ölçümleri kartlar radyasyon odasındaiken radyasyon verilmeden kaydedilecek.

Işınlama süresi, test esnasındaki proton akısına göre belirlenerek ECSS standardında verilen seviyeye ulaşılacak. ( $10^{11}$  Proton/cm<sup>2</sup>)

K1'e işınlama yapılacak. Işınlama yapılırken ölçüm alınıp kaydedilecek.

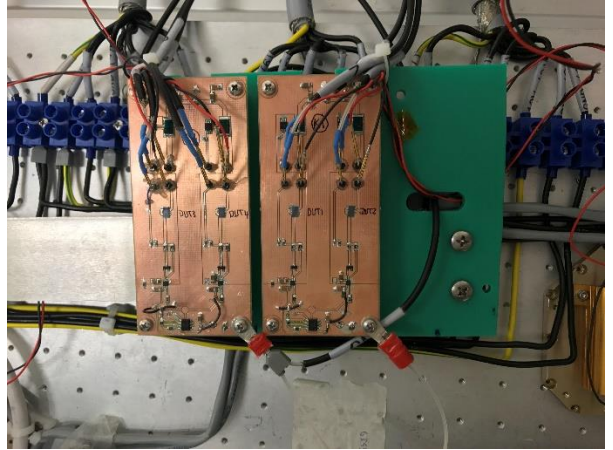
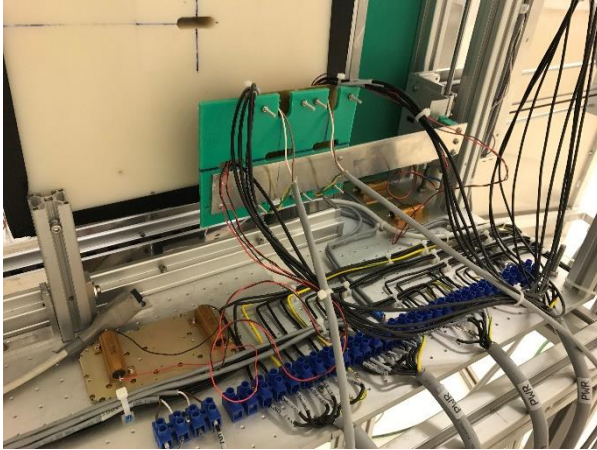
K2 pencere önüne taşınacak ve işınlama yapılacak. Işınlama yapılırken ölçüm alınıp kaydedilecek.

K1'den işınlama sonrası ölçümleri alınıp kaydedilecek.

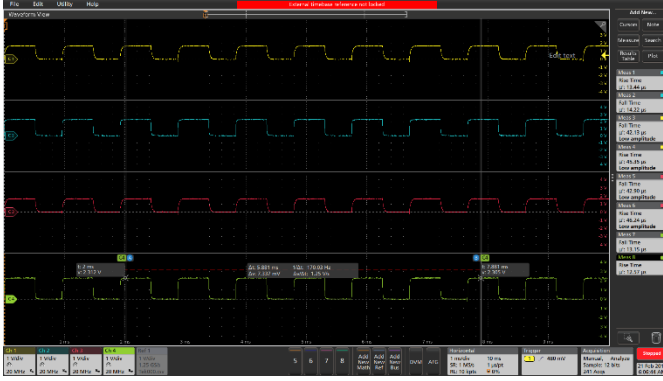
K2'den işınlama sonrası ölçümleri alınıp kaydedilecek.

K1'e destructive işınlama yapılacak. Kartta anahtarlama bozulup componentler zarar görene kadar işınlama yapılacak. Anahtarlamanın bozulduğu anda ekran görüntüsü durdurularak kaydedilecek. (ekranda 10snlik görüntü tutuluyor)

$8.2 \times 10^9$  Proton/(cm<sup>2</sup>xsecond) proton yoğunluğu ile işınlama yapıldı. Bu değere göre 12,5 snlik bir işınlama yaparak standarttaki değeri sağlayabiliyoruz. Işınlamamızı yaptık, test öncesi, esnası ve sonrası ölçümlerini aldık. Kartlarda bozulma olmadı GANFETler anahtarlamaya devam etti. Destructive teste geçtiğimizde de çok ilginç bir şekilde anahtarlama bozulmadı ve GANFETler zarar görmedi. Işınlamayı 30 dakika boyunca yaptık! (12.5 saniyede zaten istediğimiz seviyeye ulaşmıştık). Buna rağmen GANFETler sağlığını korudu ve anahtarlamaya devam etti.







### Sonuç:

Bu TÜBİTAK UZAY ve ODTÜ arasında imzalanan protokol sonucunda, Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda, gerçek zamanlı ölçüm alınarak SEE testleri Türkiye’de ilk defa gerçekleştirildi. Bu testte EPC2034 GANFETlerin yoğun proton akısı altında performansı gözlemlendi. Normalde uygulanması gereken koşullardan daha ağır koşullarda test edilmesine rağmen (normalde  $6-7 \times 10^9$  Proton/( $cm^2 \times second$ ) yoğunlukta ışınlama yapılıyor, biz  $8.2 \times 10^9$  Proton/( $cm^2 \times second$ ) ile yaptık. Anahtarlama yapılmıyor, yalnızca Gate’e veya Drain’e gerilim uygulanıyor, biz anahtarladık. Ayrıca yarım saat süre ile bozucu test uyguladık) GANFET’ler sağlığını koruyarak anahtarlamaya devam etti.