

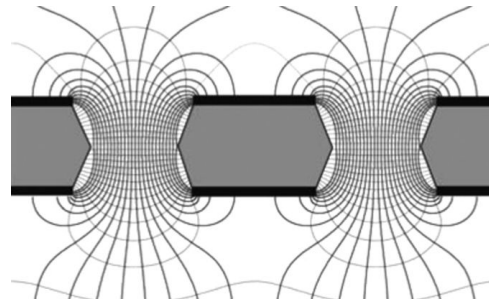
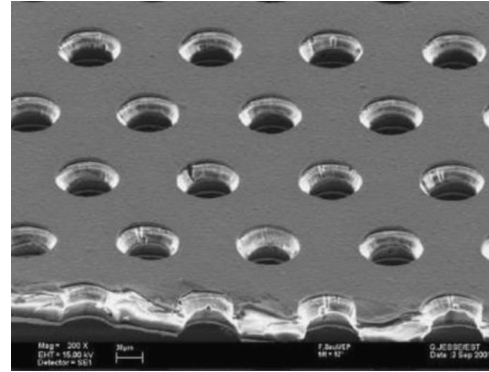
Stabilized Voltage Divider

HV-Versorgung für GEMs bei hohen Raten

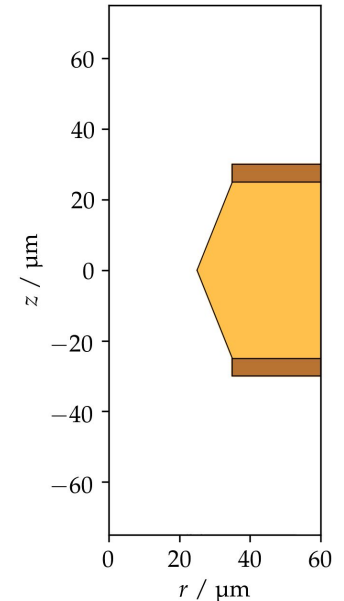
10.02.2025
Jakob Krauß

Gas Electron Multiplier

- 1997 von F. Sauli 1997 entwickelt
- Mikrostrukturierte Verstärkungsstufe
 - 50 μm dicke Polyimidfolie
 - Beidseitige Kupferbeschichtung
- Gasverstärkung in Löchern
- Potentialdifferenz von $\sim 400\text{ V}$



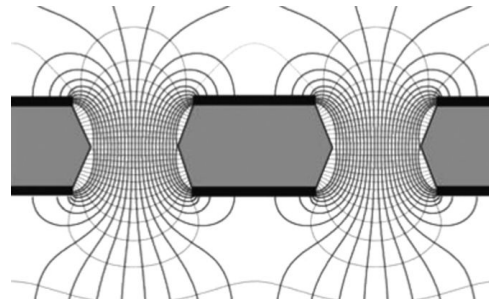
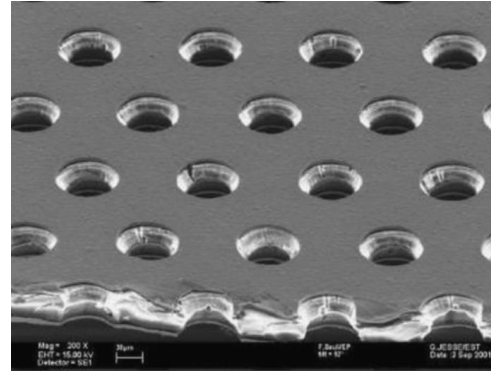
[Sauli, 2015, DOI: 10.1016/j.nima.2015.07.060]



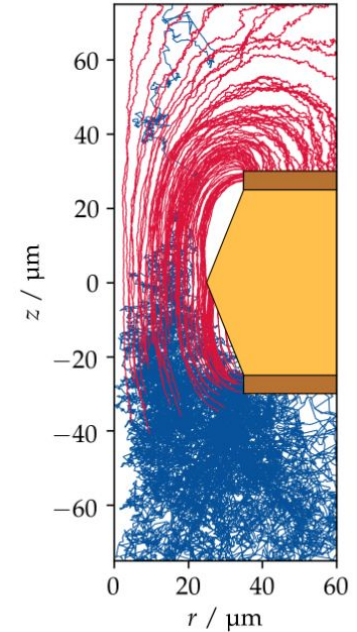
[P. Hauer]

Gas Electron Multiplier

- 1997 von F. Sauli 1997 entwickelt
- Mikrostrukturierte Verstärkungsstufe
 - 50 μm dicke Polyimidfolie
 - Beidseitige Kupferbeschichtung
- Gasverstärkung in Löchern
- Potentialdifferenz von $\sim 400\text{ V}$



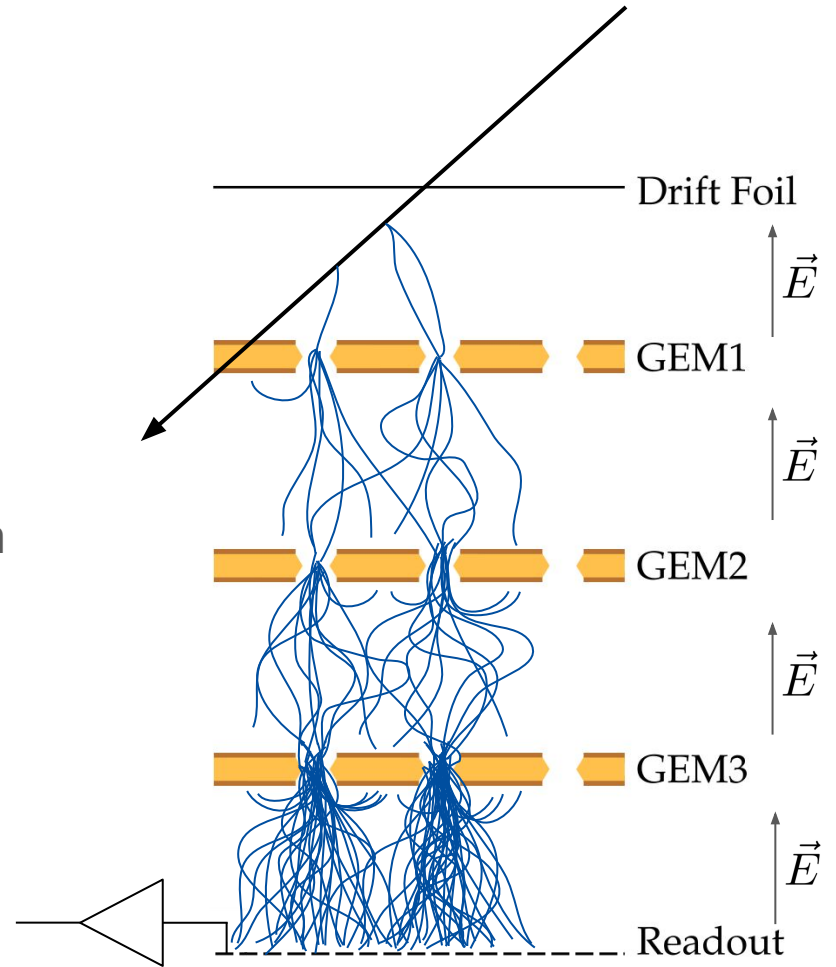
[Sauli, 2015, DOI: 10.1016/j.nima.2015.07.060]



[P. Hauer]

Gas Electron Multiplier

- Gasgefüllte Detektoren
 - Einfallendes Teilchen ionisiert Gas
 - Elektronen driften im E-Feld
- GEMs sind Multiplikativ
 - Verstärkungsfaktor von 10^4
 - Ermöglichen Elektronische Auslese
- Wichtiger Komponente von Experimenten
 - ALICE TPC
 - Tracking Detektor bei AMBER



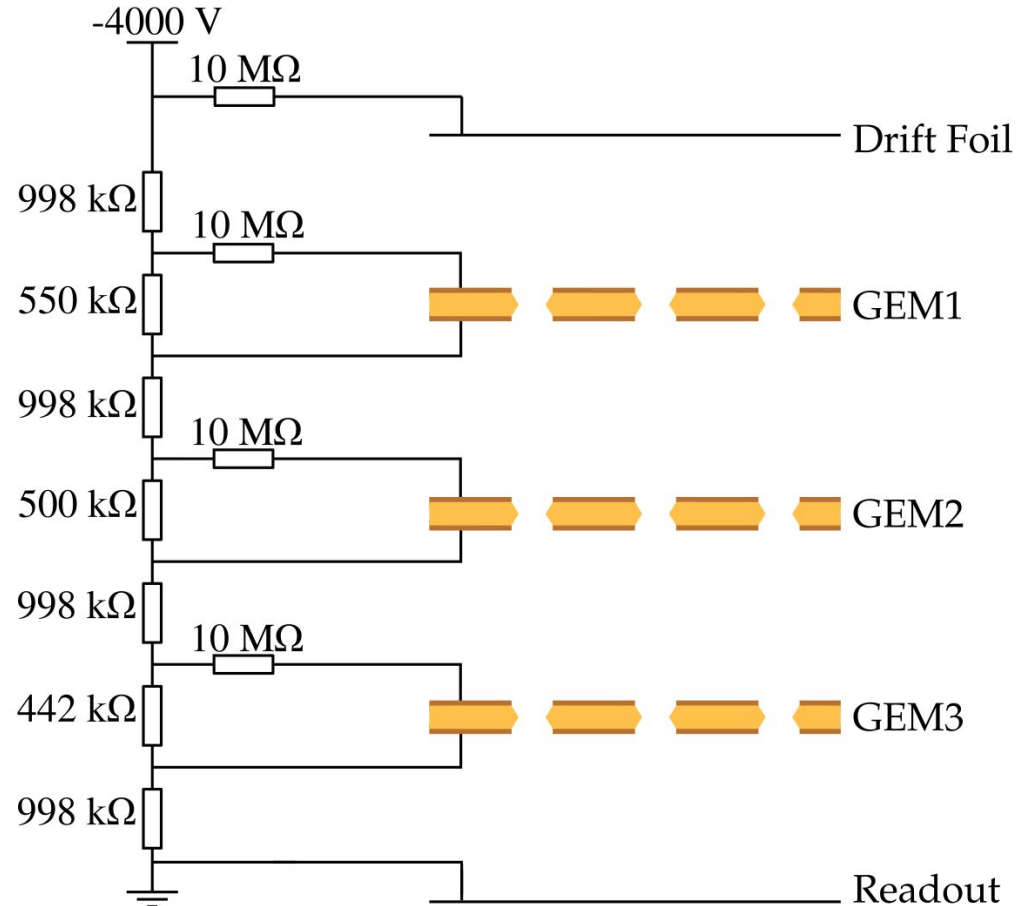
Passive Voltage Divider:

- Genutzt bei AMBER

[Altunbas et al., 2003,
DOI: 10.1016/S0168-9002(02)00910-5]

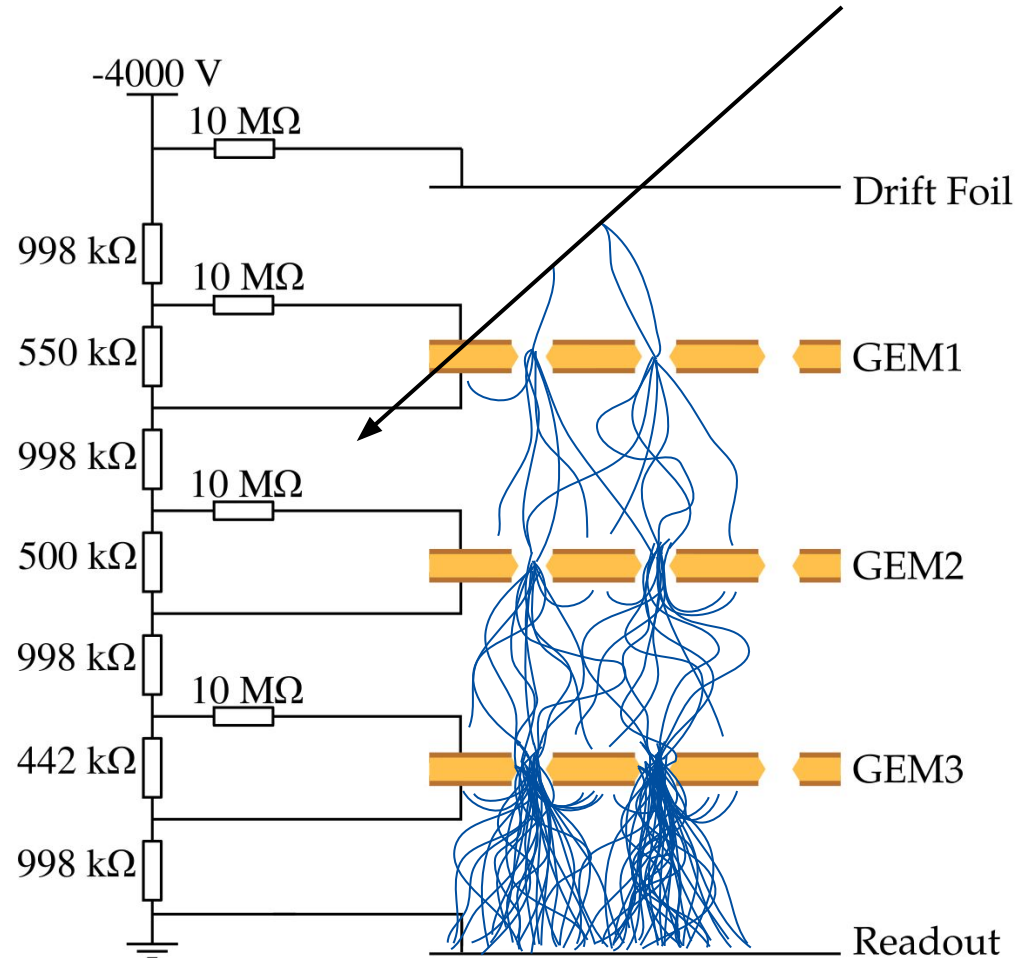
- Widerstandskette definiert Potentiale im Detektor

- Bias-Widerstand begrenzt Kurzschlussstrom



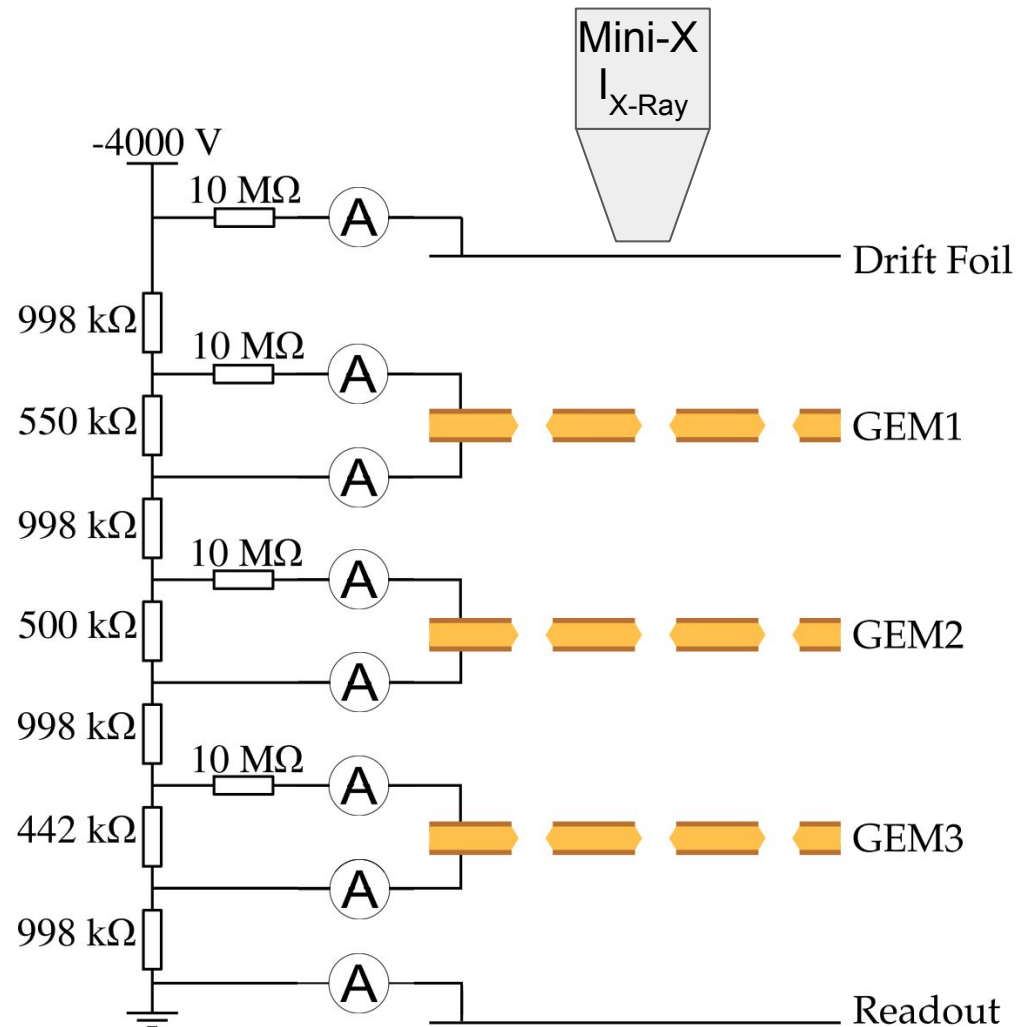
Passive Voltage Divider:

- Hohen Raten führen zu vielen Ladungsträgern
 - Induziert Ströme auf Elektroden
 - Verschiebung gegenüber den nominalen Potentialen
- ⇒ Verschlechterte Performance



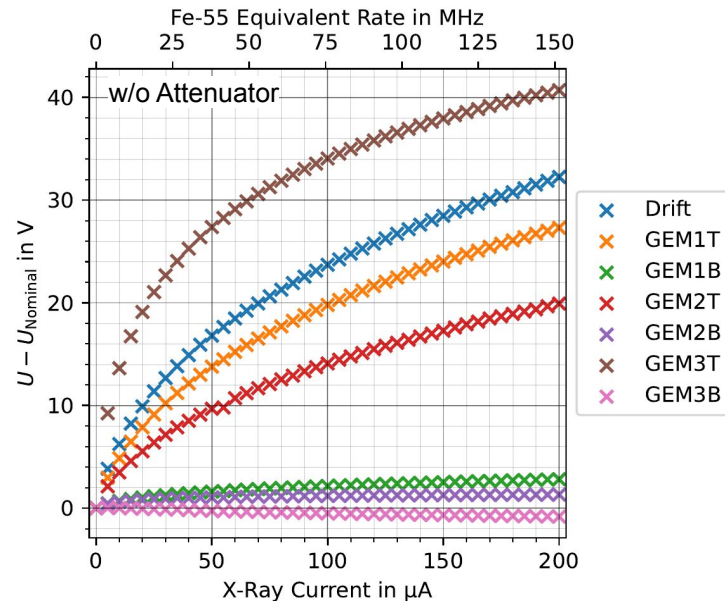
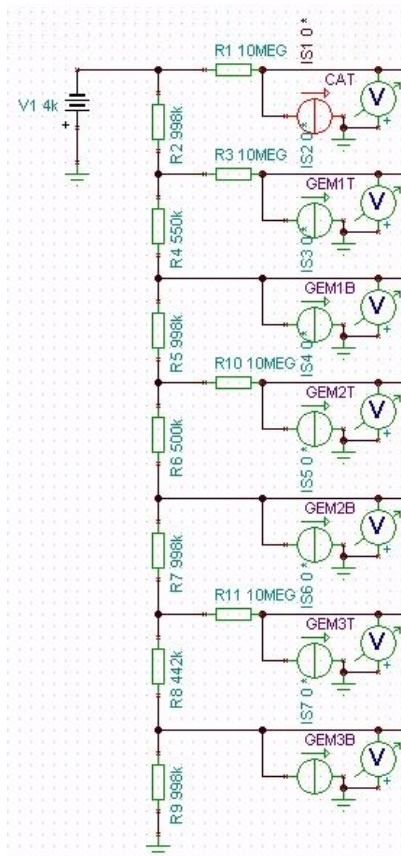
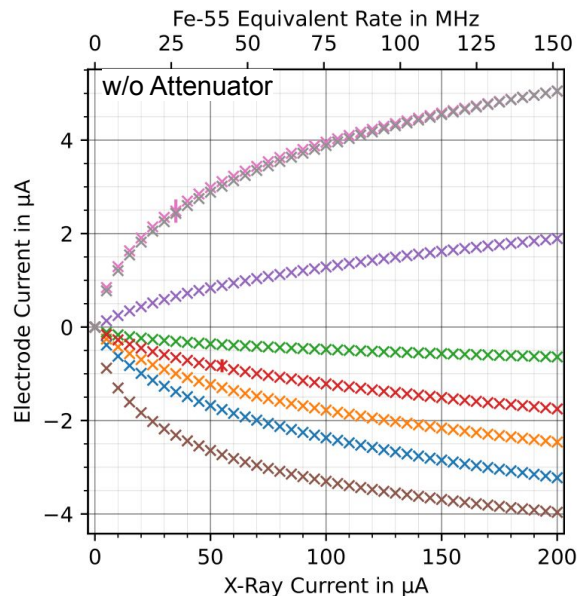
Passive Voltage Divider:

- Bestrahlung mit Mini-X
 - Heizspannung ist proportional zum Ionisationsstrom
 - Kupferfolie zur zusätzlichen Abschwächung
- Hoher Ausgangswiderstand erschwert direkte Spannungsmessung



PVD - Spannungsabfall:

Ströme → Simulation → Spannungen

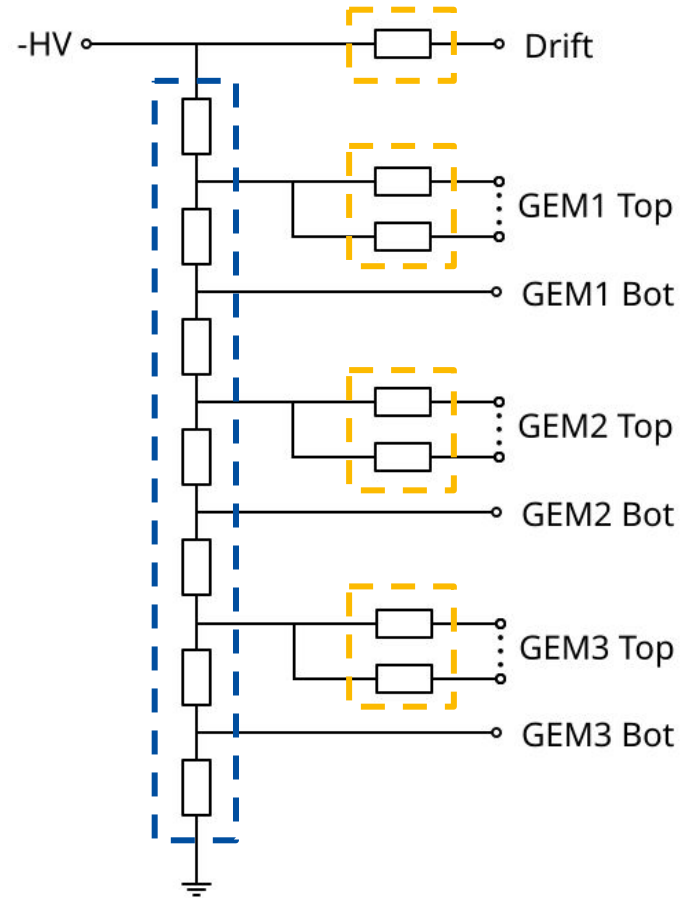


Statistical uncertainties are smaller than markers $\sim 10\text{nA}$.

Not corrected for T/p effects

Anforderungen an die HV-Versorgung:

- Hohe Raten
 - Niedrige Impedanz des Bias-Widerstand
- Kurzschluss eines GEM Segments
 - Hohe Impedanz des Bias-Widerstand
 - Niedrige Impedanz der Widerstandskette
- Entladungen
 - Müssen vermieden werden
 - HV-Versorgung muss vorhersehbar reagieren



Alternativen zur Widerstandskette:

Getrennte HV-Channels



Niedrige Impedanz

Teuer



Anpassbar



Entladungen sind fatal



Laboranwendungen



Kaskadierte HV-Channels



Niedrige Impedanz

Teuer

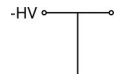


Anpassbar



ALICE TPC

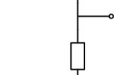
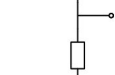
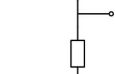
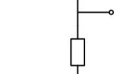
Widerstandskette



$O(M\Omega)$ Impedanz

Günstig

Unflexibel



AMBER

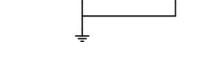
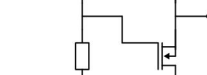
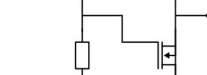
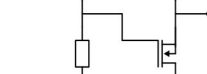
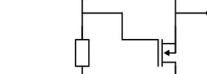
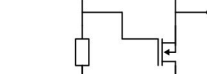
AVD



Niedrige Impedanz

Günstig

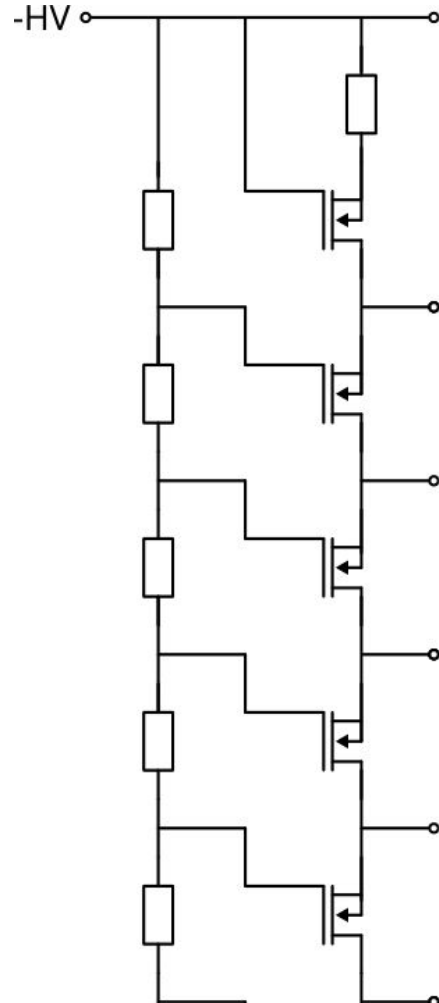
Unflexibel



SVD

[ALICE TPC collaboration, 2021,
10.1088/1748-0221/16/03/P03022]

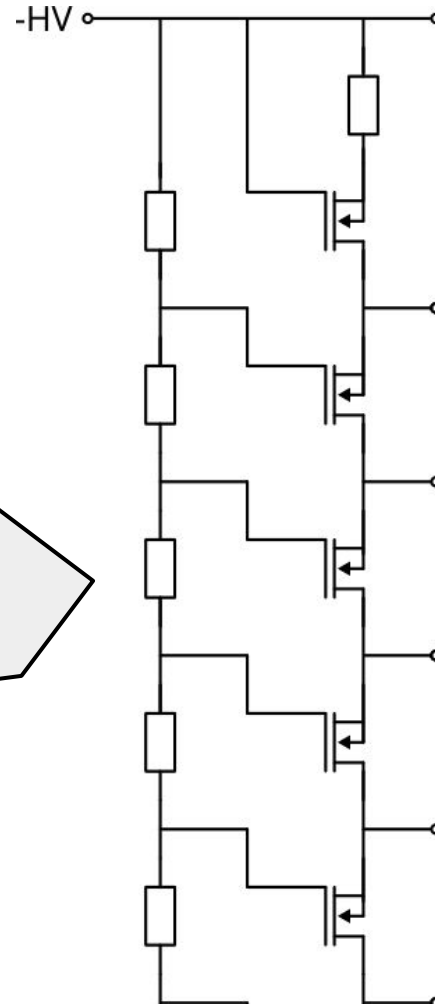
Active Voltage Divider:



Active Voltage Divider:

Widerstandskette

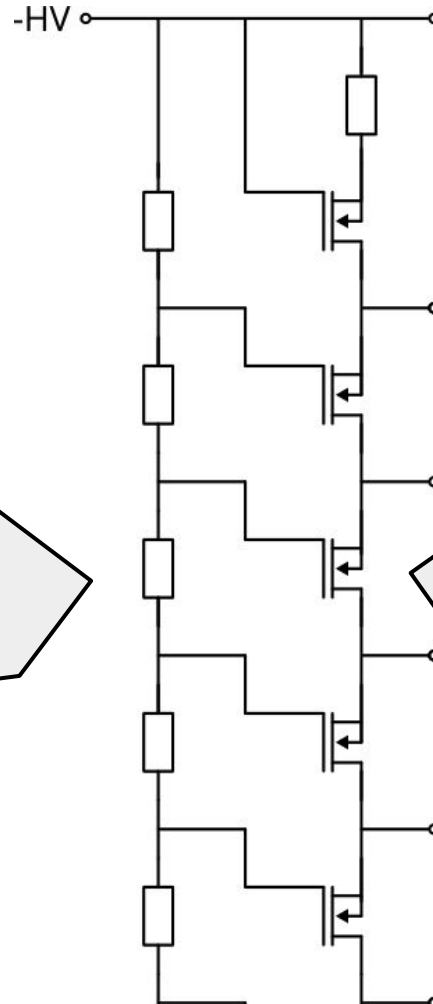
- Definiert Potentiale
- Sieht keine Last



Active Voltage Divider:

Widerstandskette

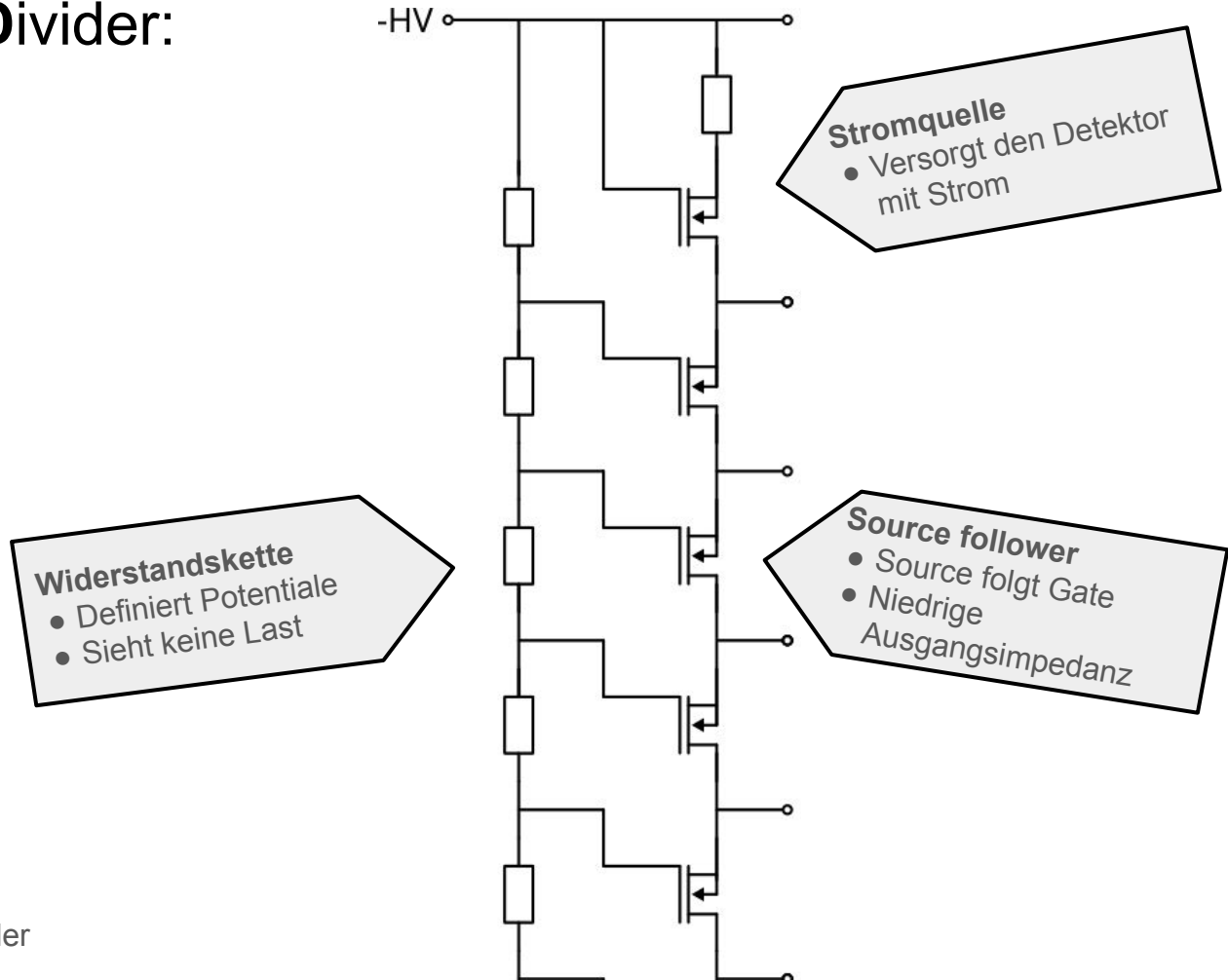
- Definiert Potentiale
- Sieht keine Last



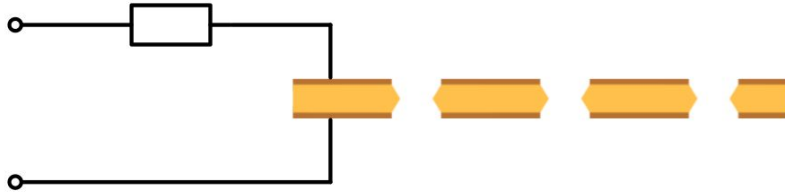
Source follower

- Source folgt Gate
- Niedrige Ausgangsimpedanz

Active Voltage Divider:



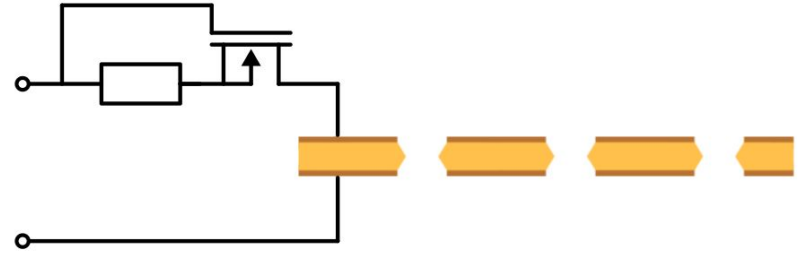
Alternativen zum Bias-Widerstand:



Bias-Widerstand

Impedanz von $10\text{M}\Omega$

Kurzschlussstrom von $\sim 40\mu\text{A}$



Current-Limiter

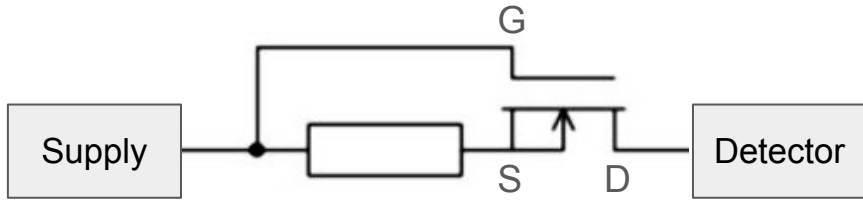
Im Normalfall Impedanz von $\sim 100\text{k}\Omega$

Kurzschlussstrom $\sim 20\mu\text{A}$

Current-Limiter:

N-channel
depletion mode
als Schalter



$U_G + 2.0V > U_S$	
$U_G + 2.0V < U_S$	

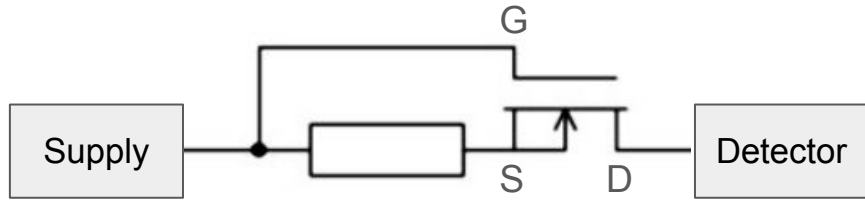


Keine Ladungen auf der GEM:
 $U_G = U_S \Rightarrow$ Leitend

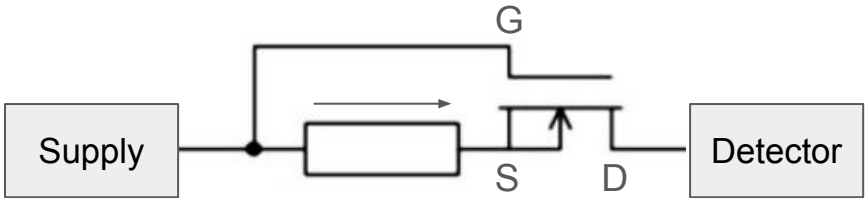
Current-Limiter:

N-channel
depletion mode
als Schalter

$U_G + 2.0V > U_S$	
$U_G + 2.0V < U_S$	





Keine Ladungen auf der GEM:
 $U_G = U_S \Rightarrow$ Leitend

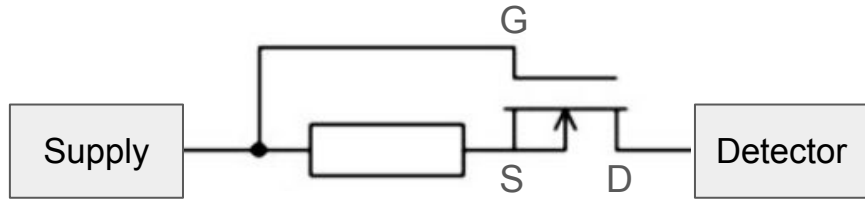


Negative Ladungen auf der GEM:
 $U_G > U_S \Rightarrow$ Leitend

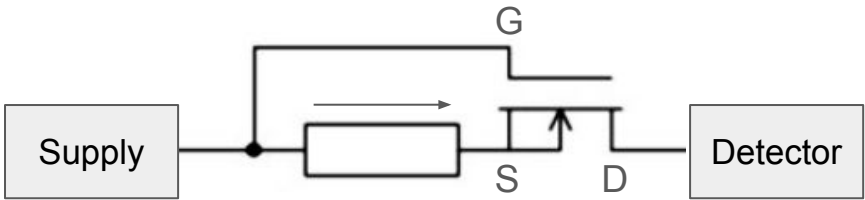
Current-Limiter:

N-channel depletion mode als Schalter

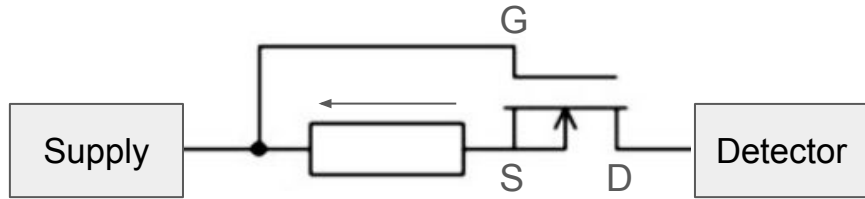
$U_G + 2.0V > U_S$	
$U_G + 2.0V < U_S$	



Keine Ladungen auf der GEM:
 $U_G = U_S \Rightarrow$ Leitend



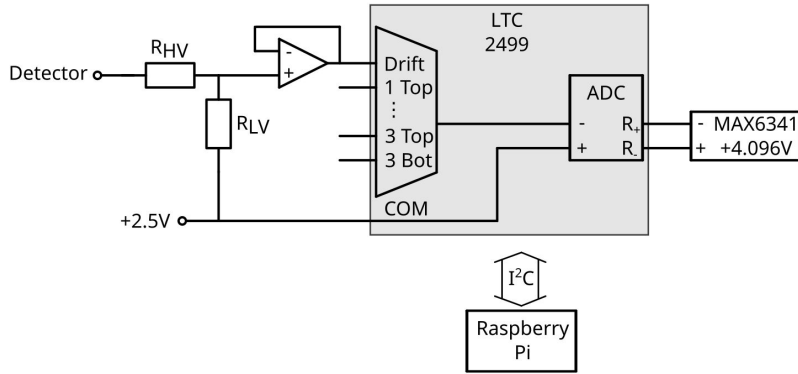
Negative Ladungen auf der GEM:
 $U_G > U_S \Rightarrow$ Leitend



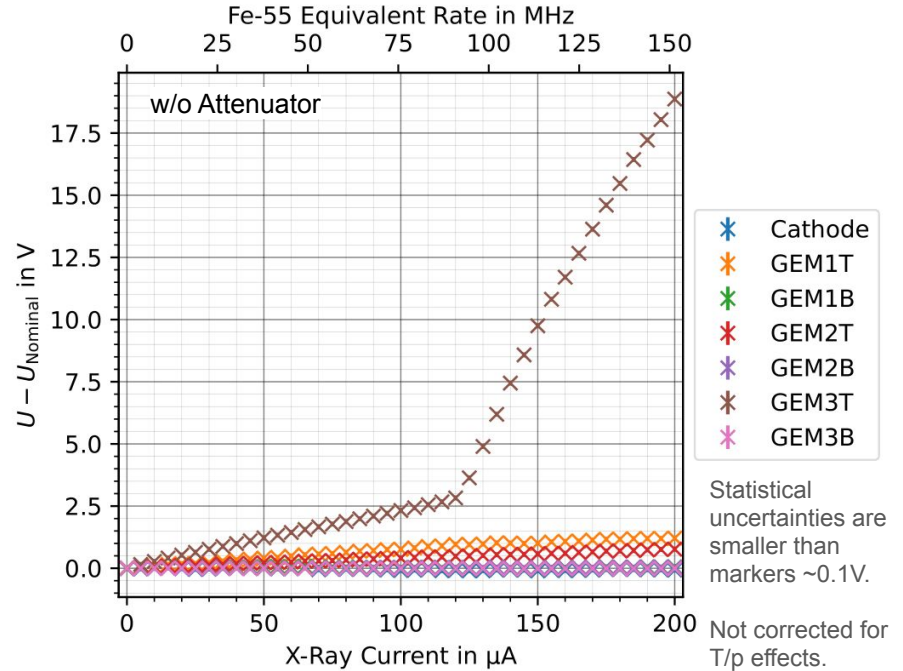
Kurzschluss der GEM oder positive Ladungen auf der GEM:
 $U_G < U_S \Rightarrow$ Sperrend

$$R = 100 \text{ k}\Omega \rightarrow I_{\text{Max}} = 20 \text{ }\mu\text{A}$$

SVD - Spannungsabfall:

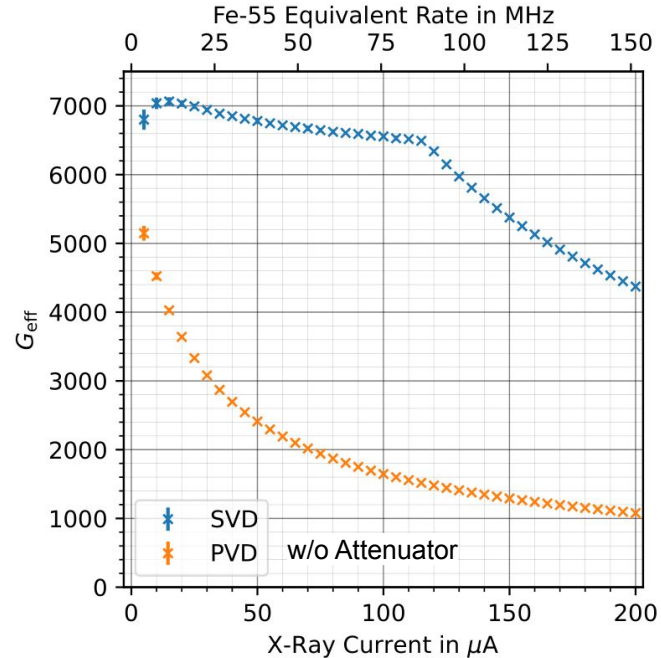
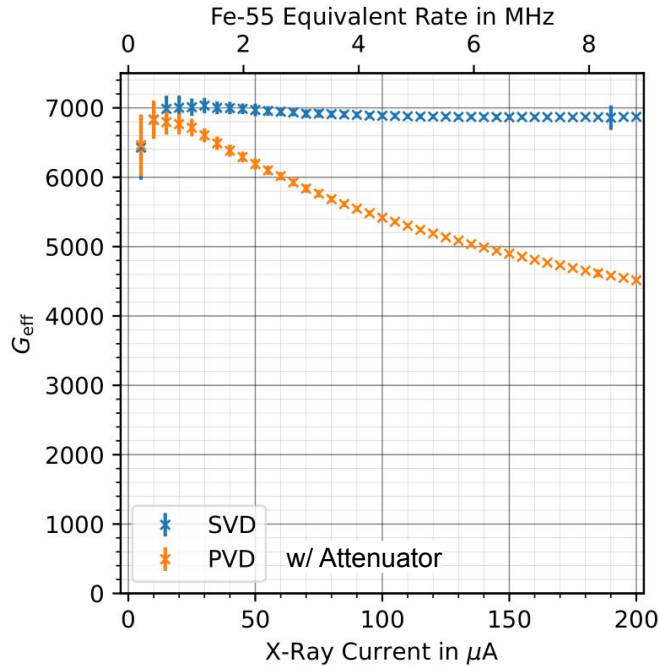


Simulation des SVDs ist schwierig
 Dafür ist eine direkte Spannungsmessung möglich



Großteil der Ionen landet auf GEM3T
 Sperrt wenn U_{Th} erreicht wird

PVD vs. SVD - Gasverstärkung:

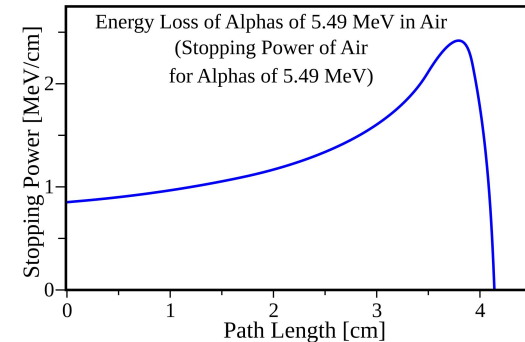
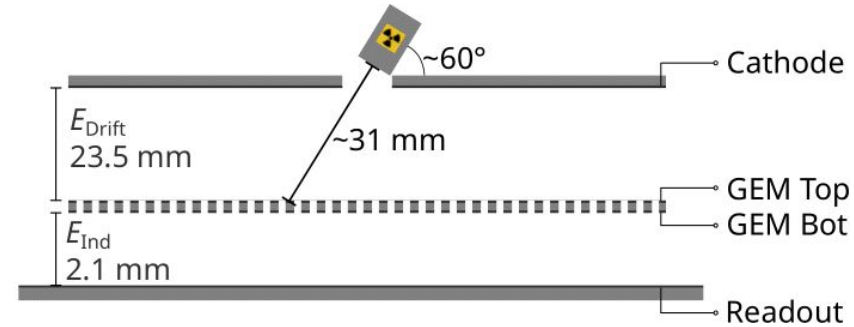


Der SVD ermöglicht deutlich höhere Raten!

Wie steht es um das Verhalten bei Entladungen?

Primäre Entladungen

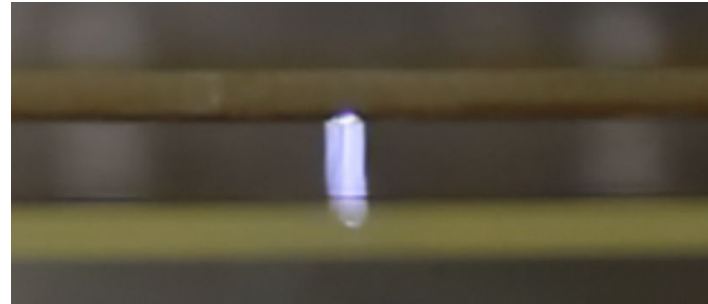
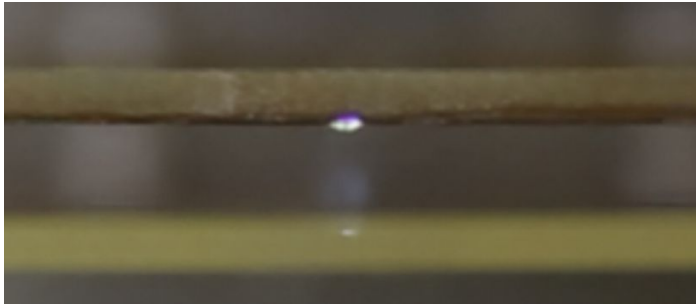
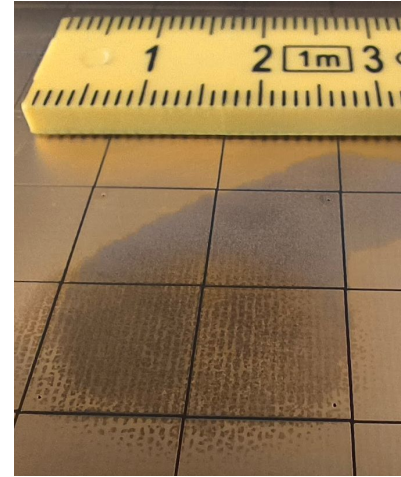
- Entladung der GEM-Kapazität $\sim 5\text{nF}$
 - Sichtbar, hörbar und messbar
 - Bei Überschreitung einer kritischen Ladung in einem Loch
 - $Q_{\text{crit}} = (4.7 \pm 0.6) \times 10^6 e^-$
[Gasik et al., 2017, DOI: 10.1016/j.nima.2017.07.042]
- Discharge setup
 - Ar:CO₂ 90:10
 - Einfache 10x10 cm² GEM
 - ²²⁶Ra als α -Strahler
 - Bragg-Peak auf Höhe der GEM



[Wikipedia, Bragg Peak]

Sekundäre Entladungen

- Zwischen GEMs und Auslese
 - Bei starken Feldern E_{Ind}
 - Verzögerung von $\sim 10\mu\text{s}$
 - In dieser Zeit fließt bereits ein Strom von O(mA)



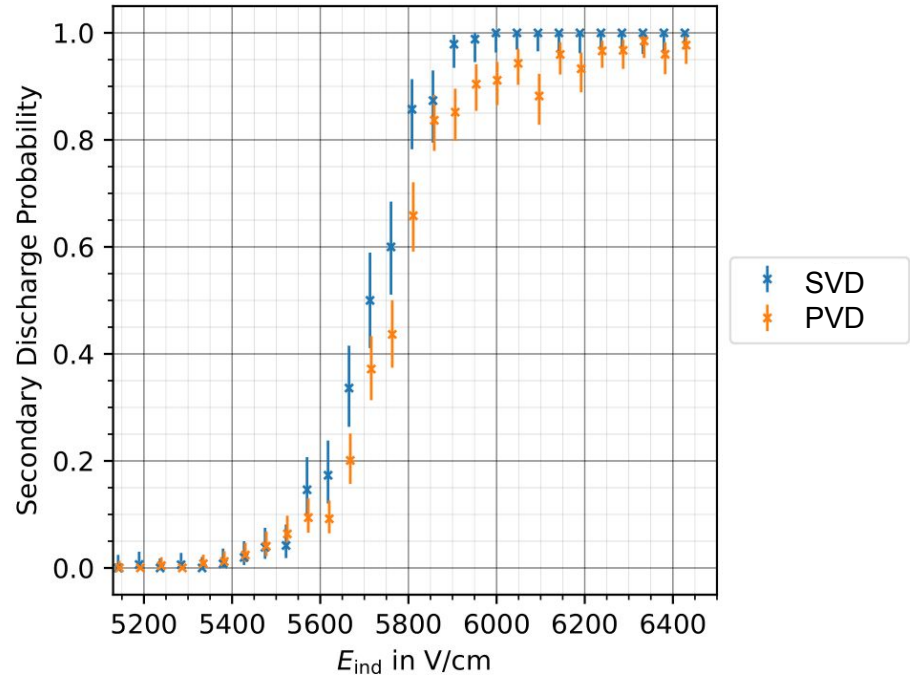
[Deisting et al., 2019, DOI:10.1016/j.nima.2019.05.057]

Messung von Entladungen

Mit welcher Wahrscheinlichkeit propagiert eine Entladung zur Auslese?

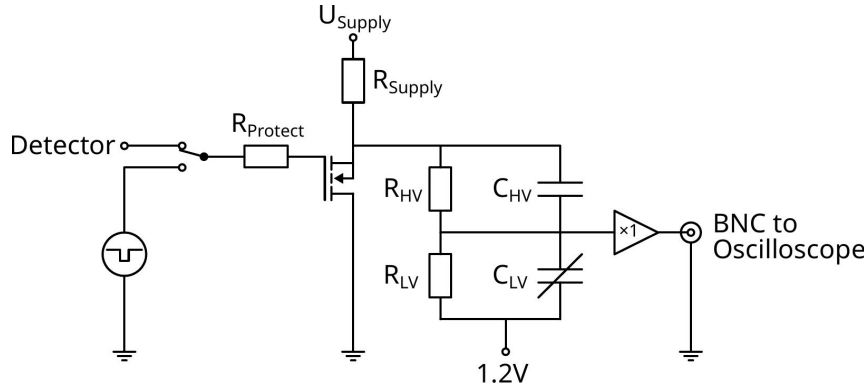


- Auslese liegt auf 0V
 - -32dB Attenuator
 - 1M Ω Oszilloskop
 - Simpel



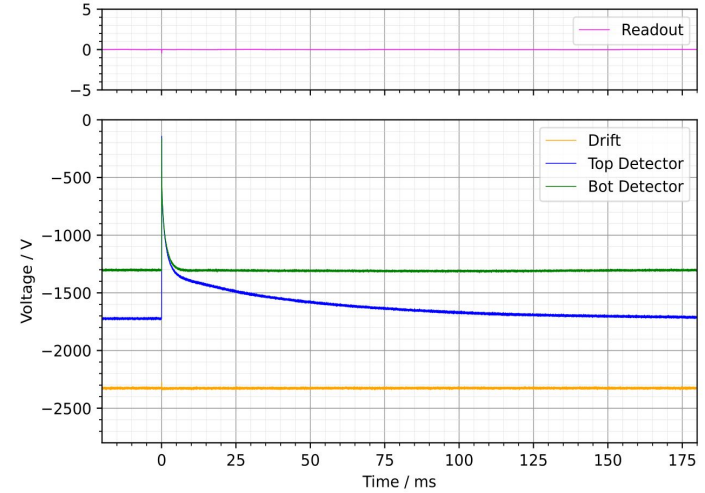
Messung von Entladungen

Was passiert im Detektor?

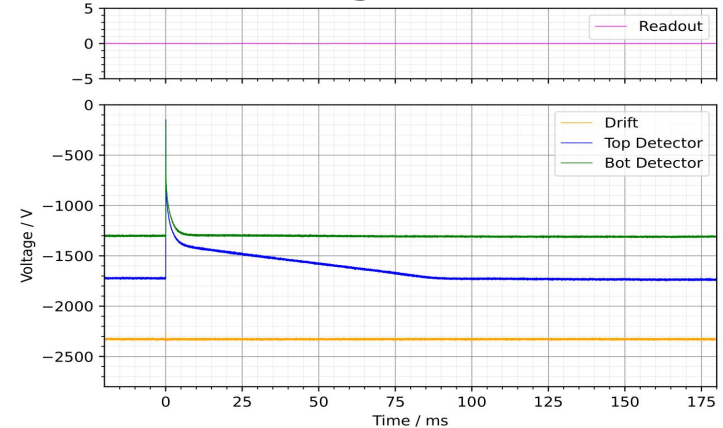


- Drift & GEM auf einigen kV
 - minimale Last durch Source-Follower
 - Kompensierter Spannungsteiler
 - Muss Kalibriert werden

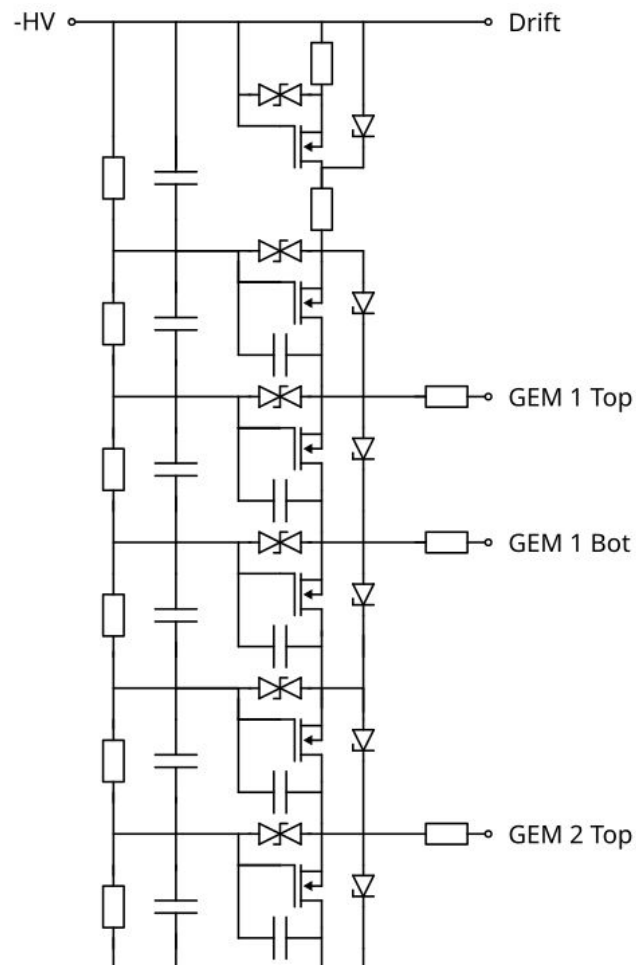
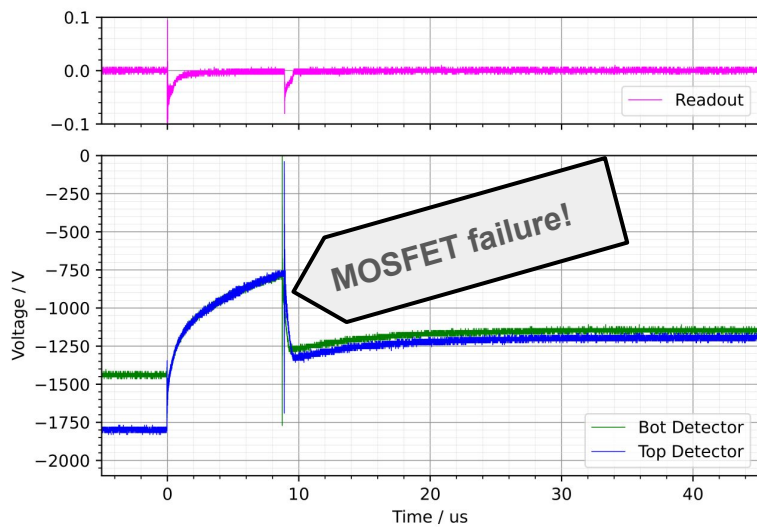
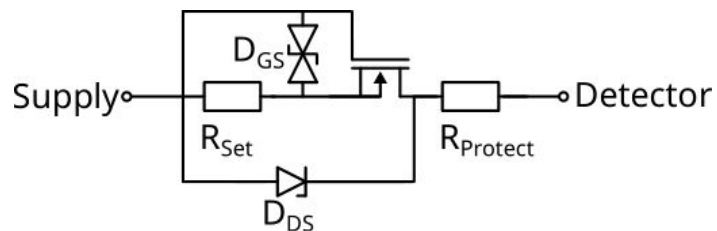
PVD



SVD

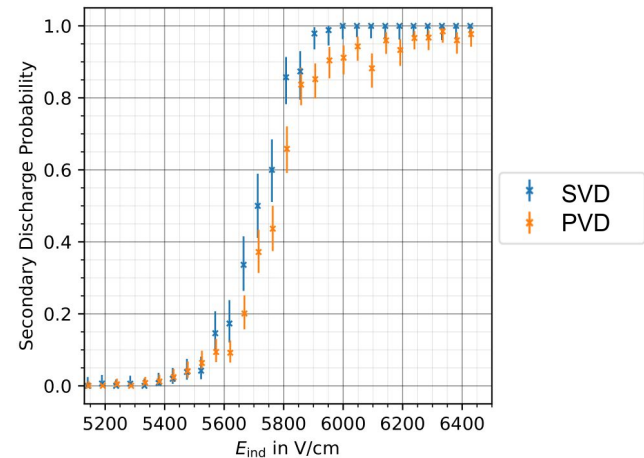
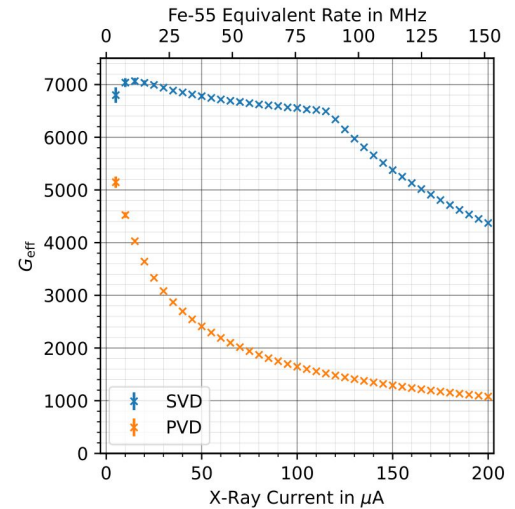
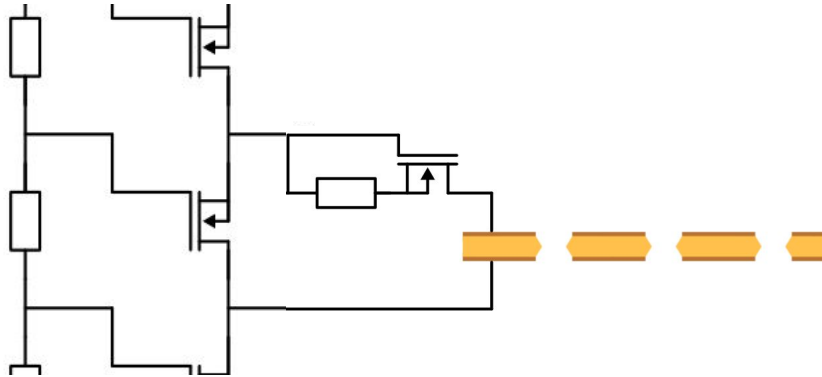


Schutzschaltung



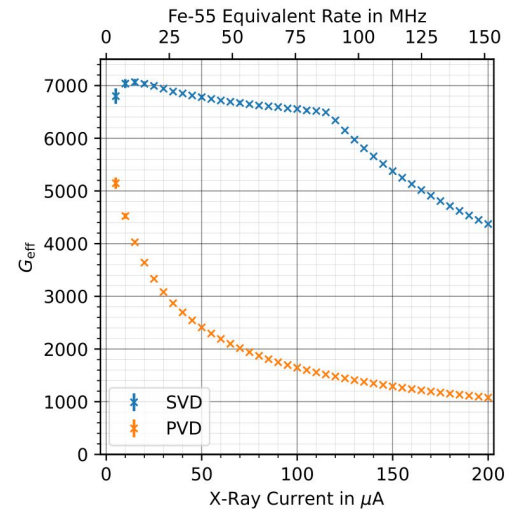
Zusammenfassung

- Der SVD ist eine neue HV-Versorgung für GEMs
- Stabiler Gain bei hohen Raten
 - Messung von Spannung & Gain unter Last
- Kein erhöhtes Risiko durch Entladungen
 - Qualitative und Quantitative Analyse



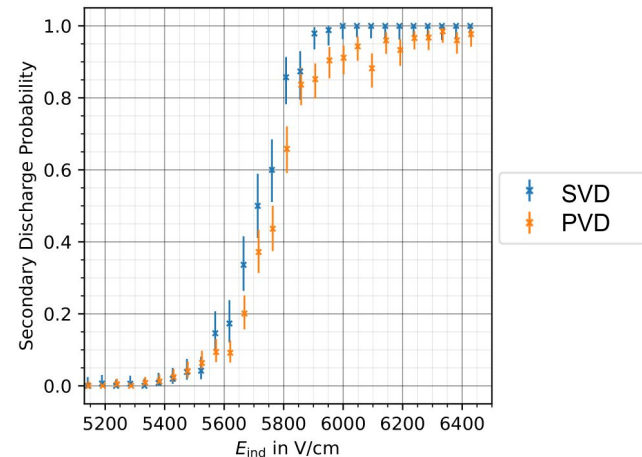
Zusammenfassung

- Der SVD ist eine neue HV-Versorgung für GEMs
- Stabiler Gain bei hohen Raten
 - Messung von Spannung & Gain unter Last
- Kein erhöhtes Risiko durch Entladungen
 - Qualitative und Quantitative Analyse



Ausblick

- Test mit tripple-GEM
 - Unsegmentiert mit Radon
 - Segmentierte im Hadronen Beam



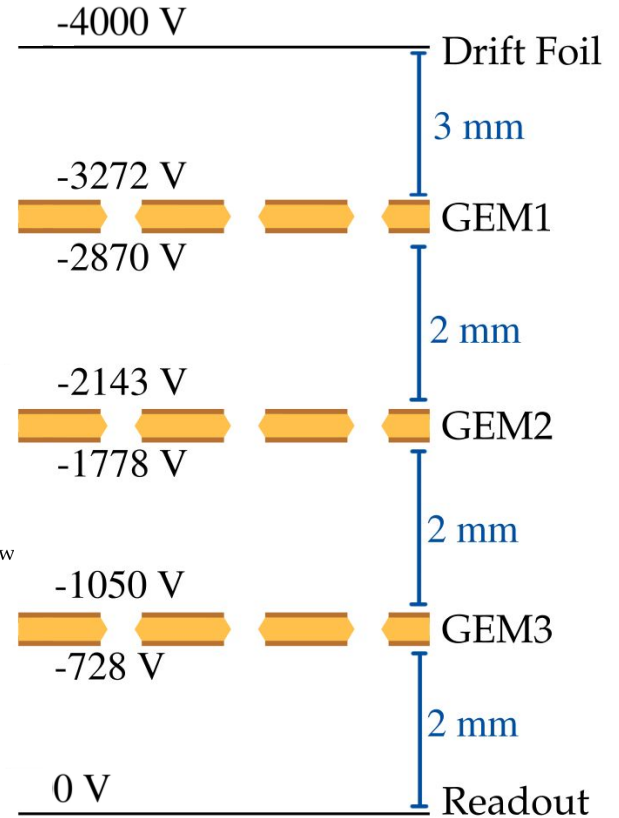
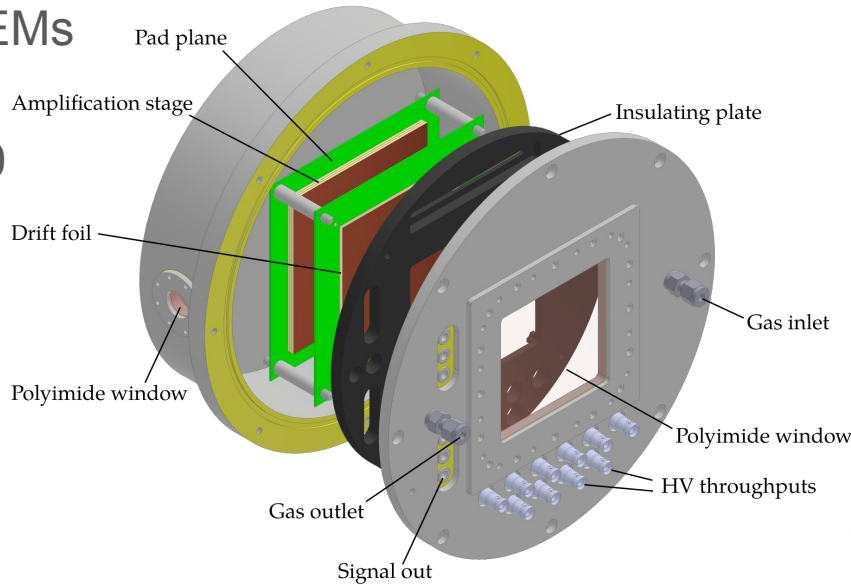
Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!



Backup

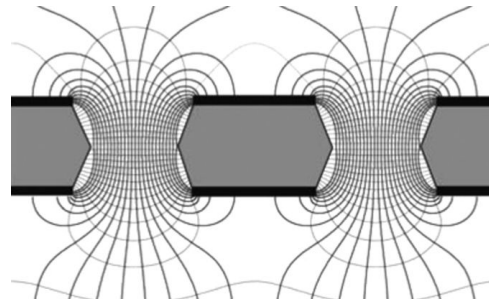
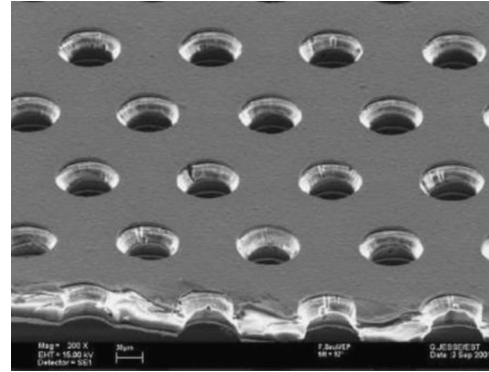
Test Detector

- AMBER-like
- Triple GEM Stack
- 10x10 cm² GEMs
- Ar:CO₂ 70:30
- Gain of ~9000

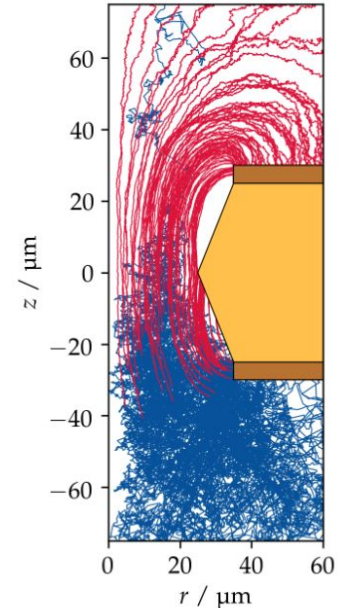


Gas Electron Multiplier

- 1997 von F. Sauli 1997 entwickelt
- Mikrostrukturierte Verstärkungsstufe
 - 50 μm dicke Polyimidfolie
 - Beidseitige Kupferbeschichtung
- Gasverstärkung in Löchern
- Potentialdifferenz von $\sim 400\text{ V}$

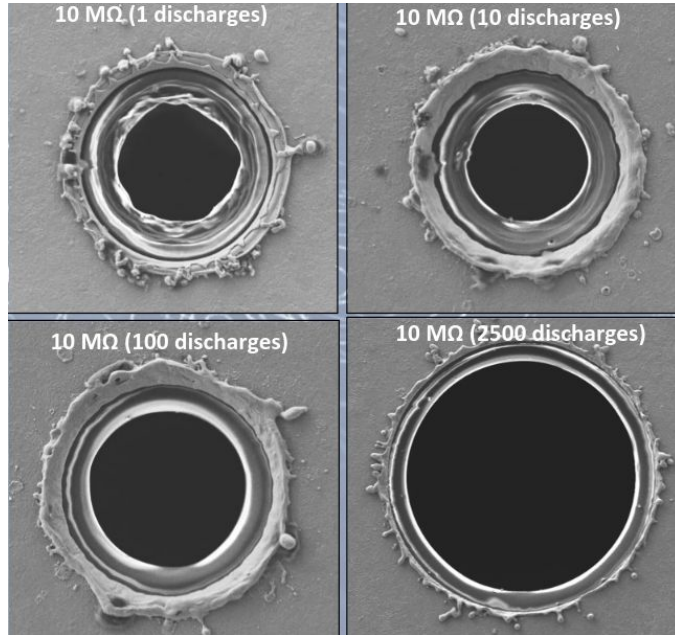


[Sauli, 2015, DOI: 10.1016/j.nima.2015.07.060]

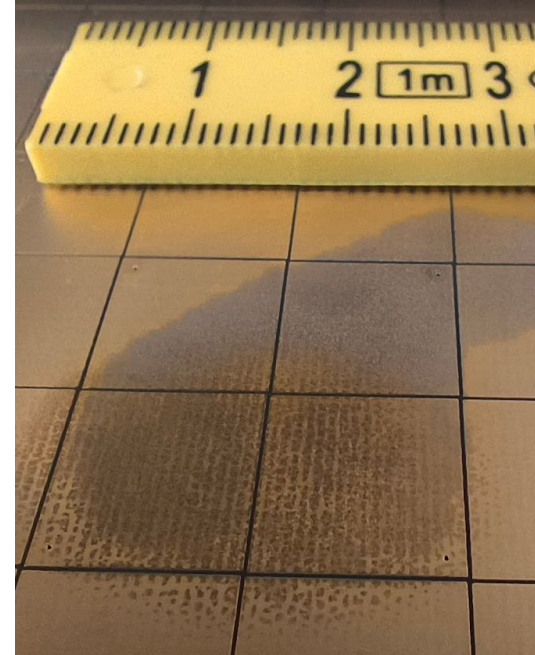


[P. Hauer]

Destructive Effect of Discharges



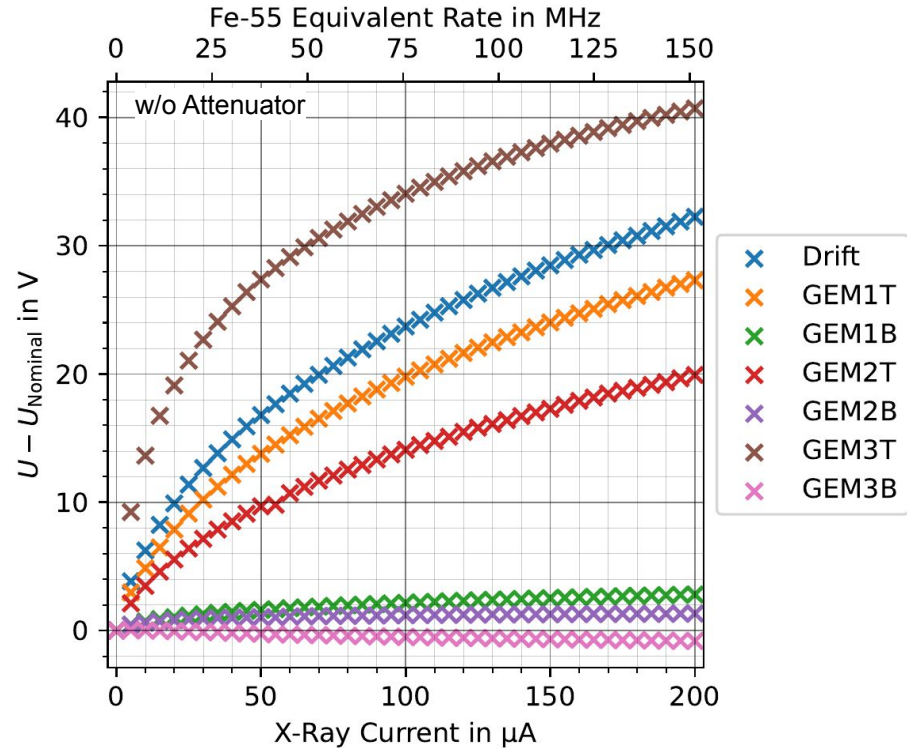
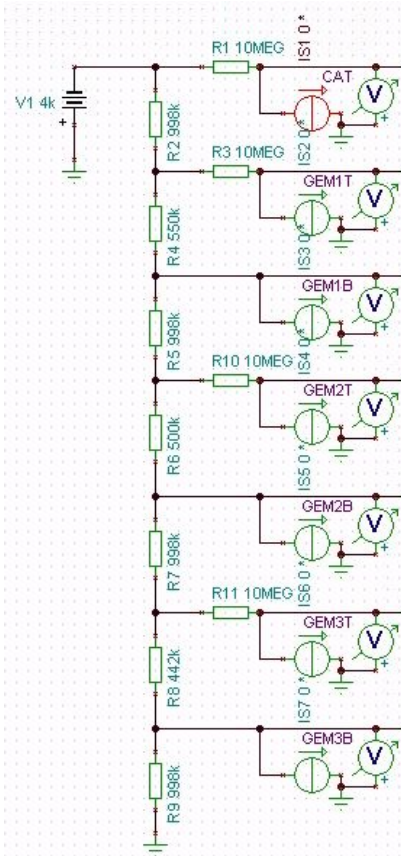
[Merlin, RD51-Miniweek 2018]



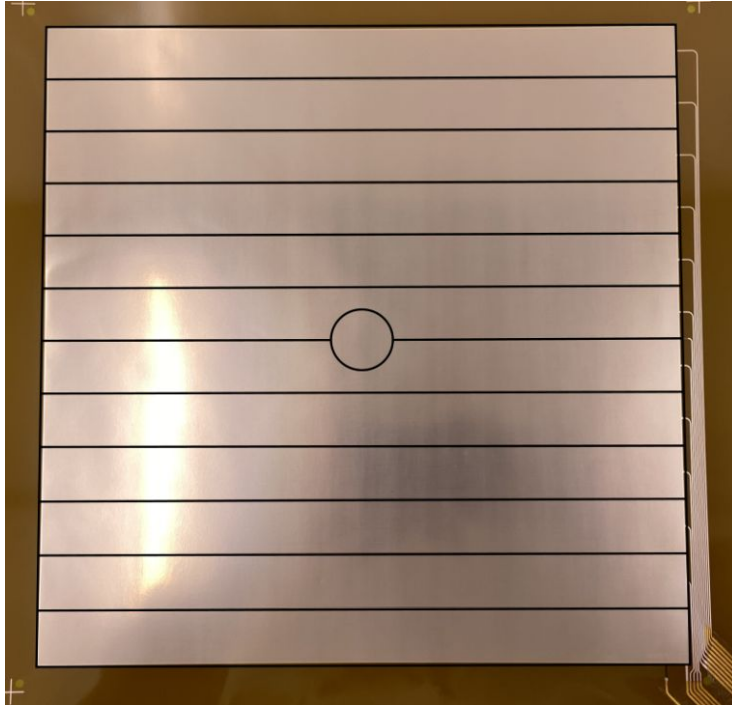
- GEMs survive primaries given a large enough bias resistor

- Secondaries are very dangerous for the sensitive readout

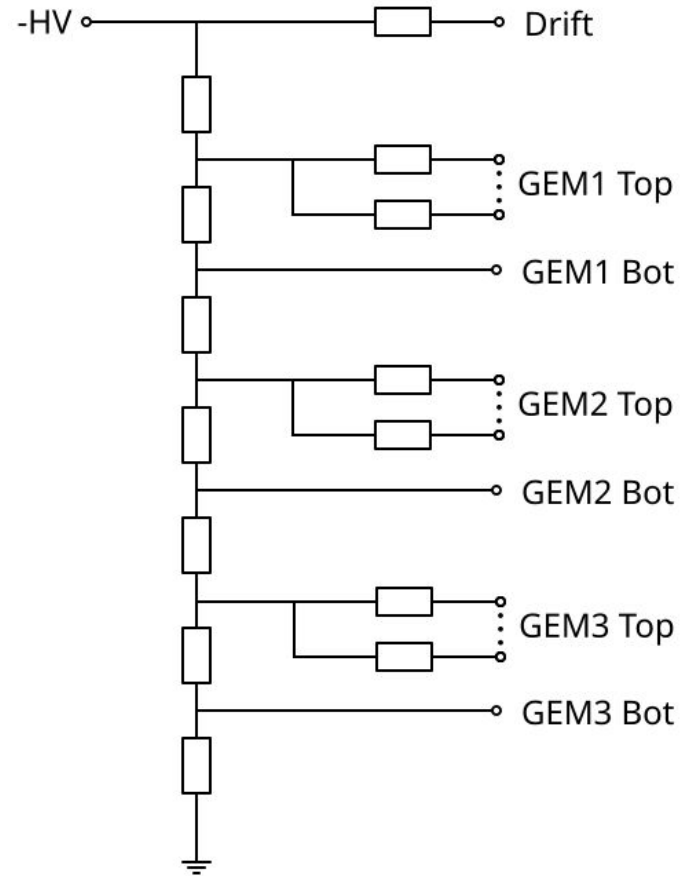
PVD – Voltage Drop:



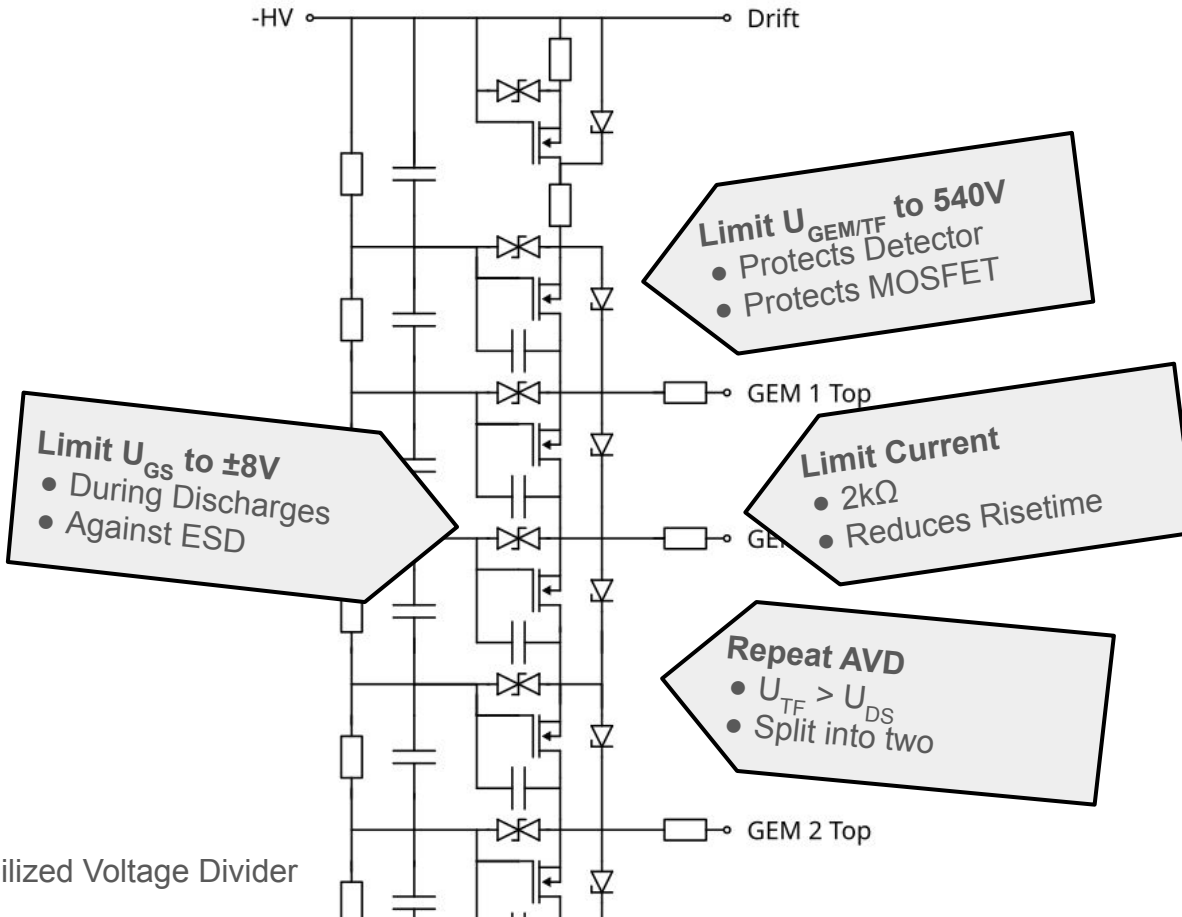
Segmented GEMs:



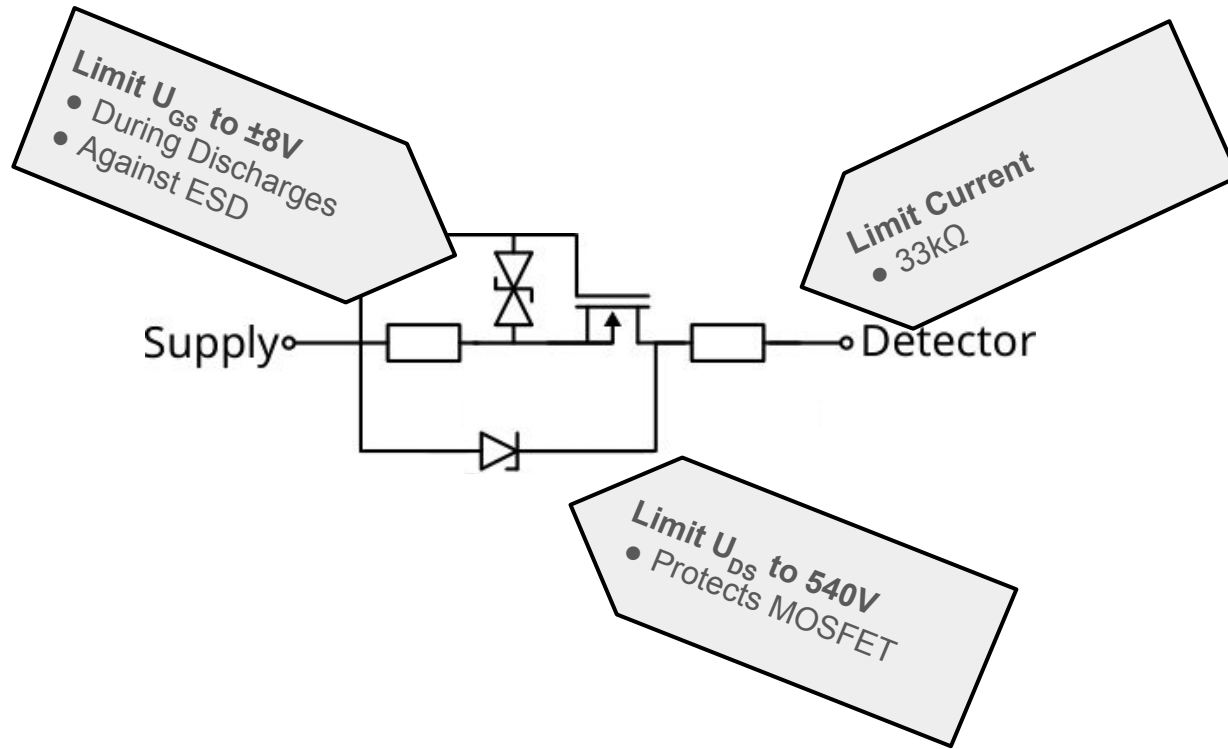
[J. Paschek]



A Discharge Resilient AVD



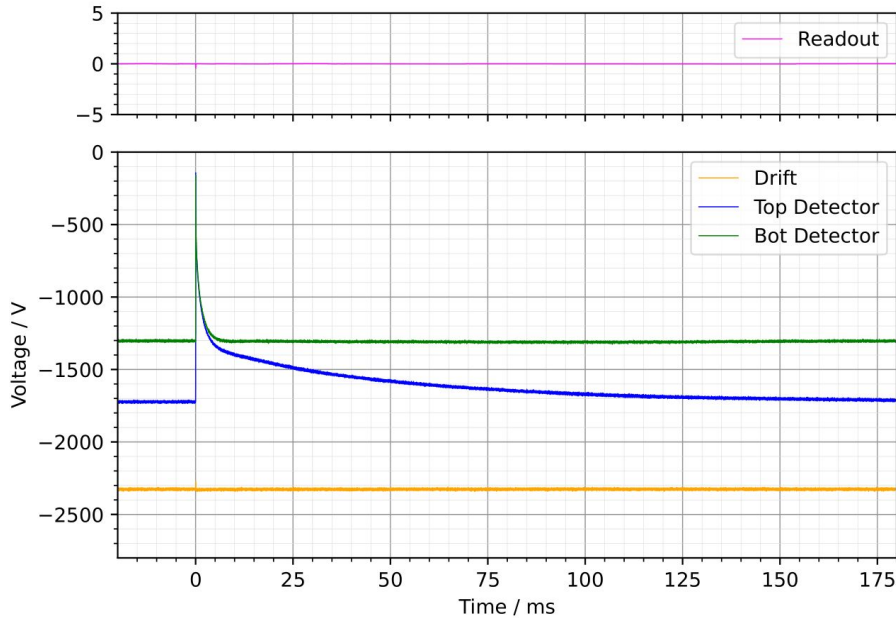
A Discharge Resilient Current-Limiter



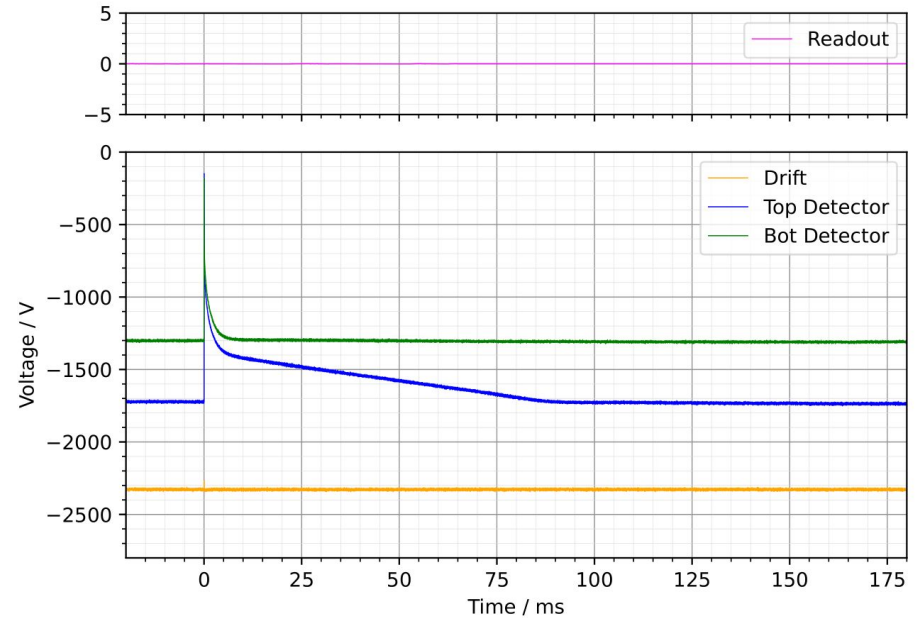
Discharges – Difference in Recharging

Supplied by separate channel of the HV-supply, $E_{\text{Ind}} = 6.2\text{kV/cm}$

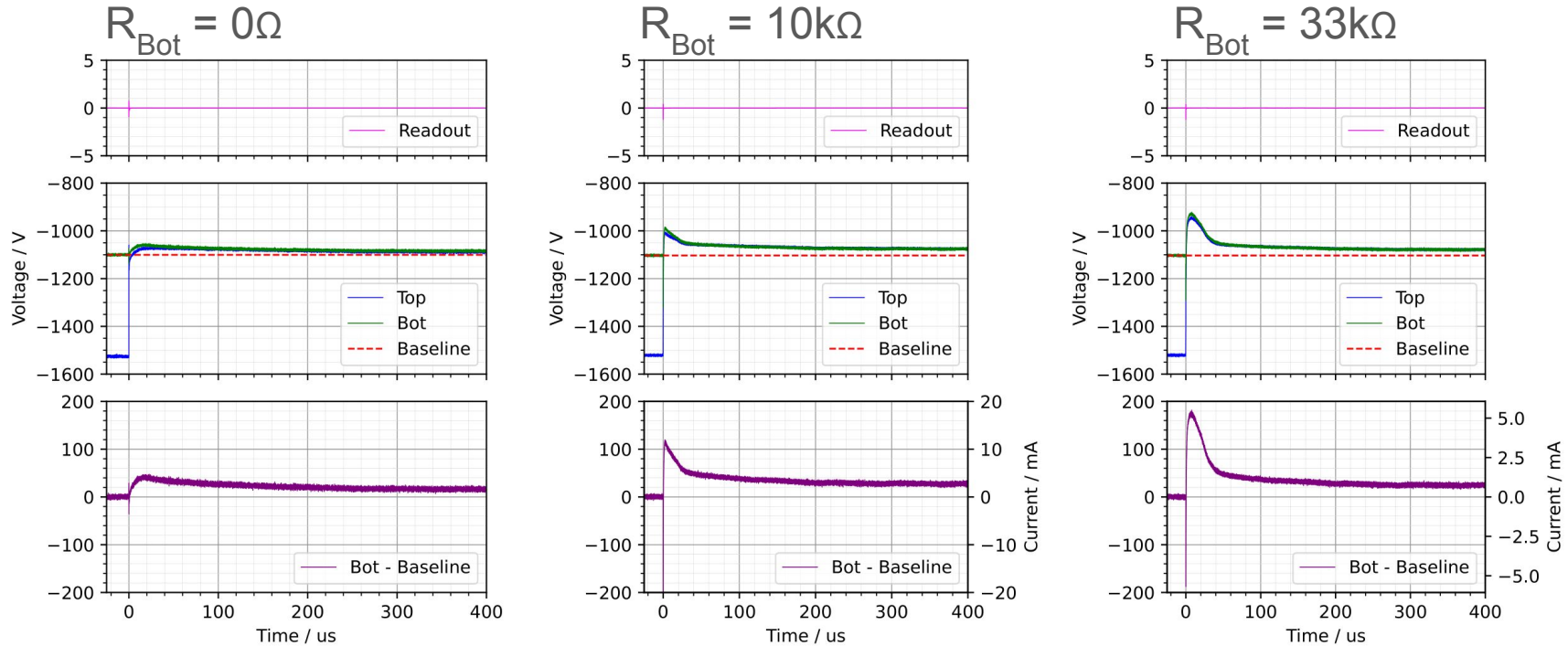
Bias-Resistor



Current-Limiter



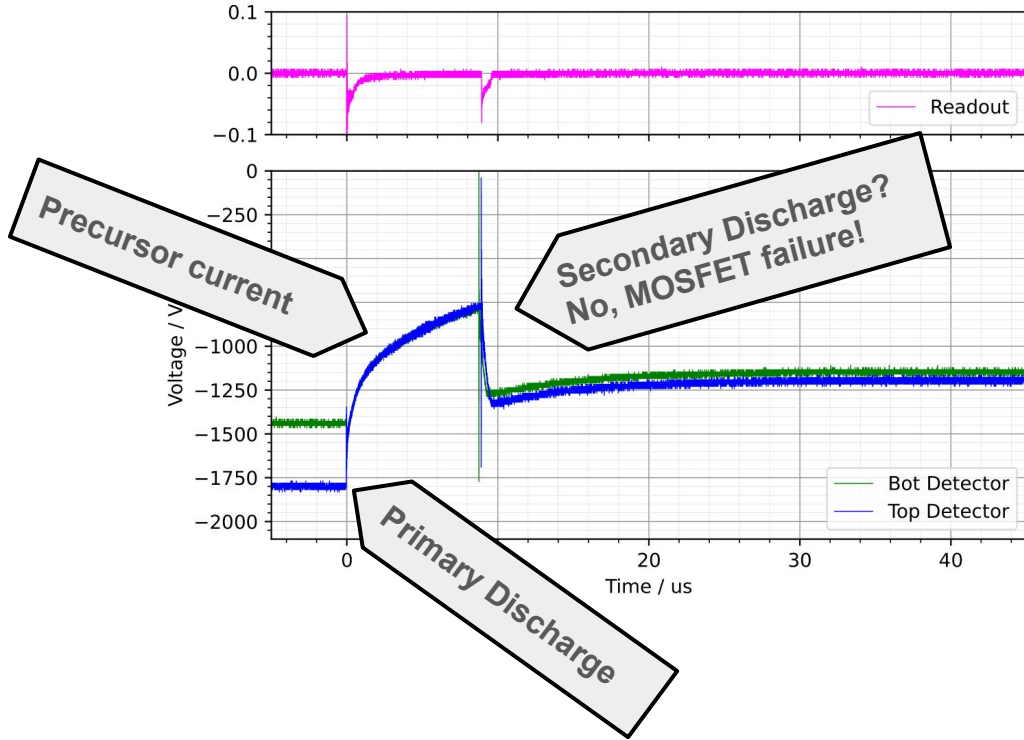
Bias-Resistor on Bot and Precursor Estimation



Supplied by separate HV-channels
Has some output impedance

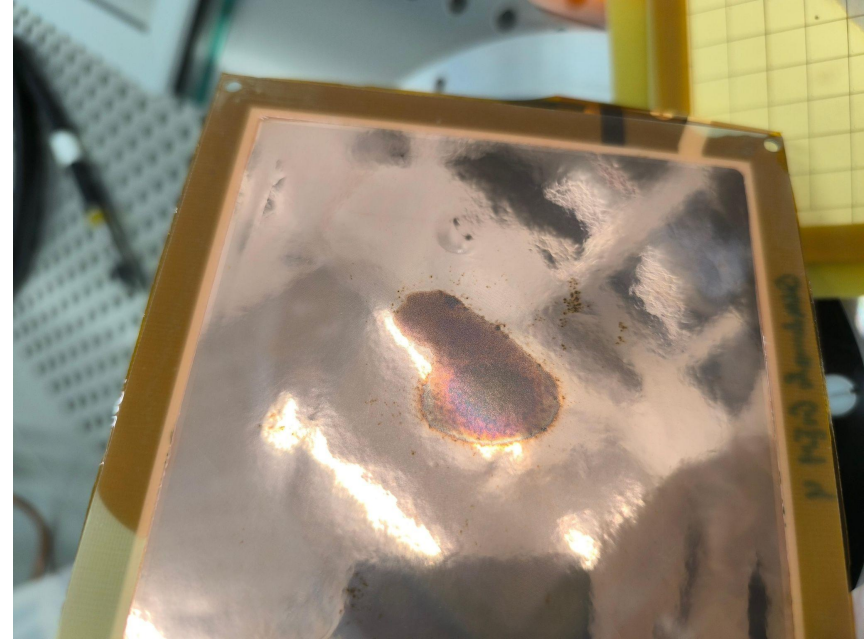
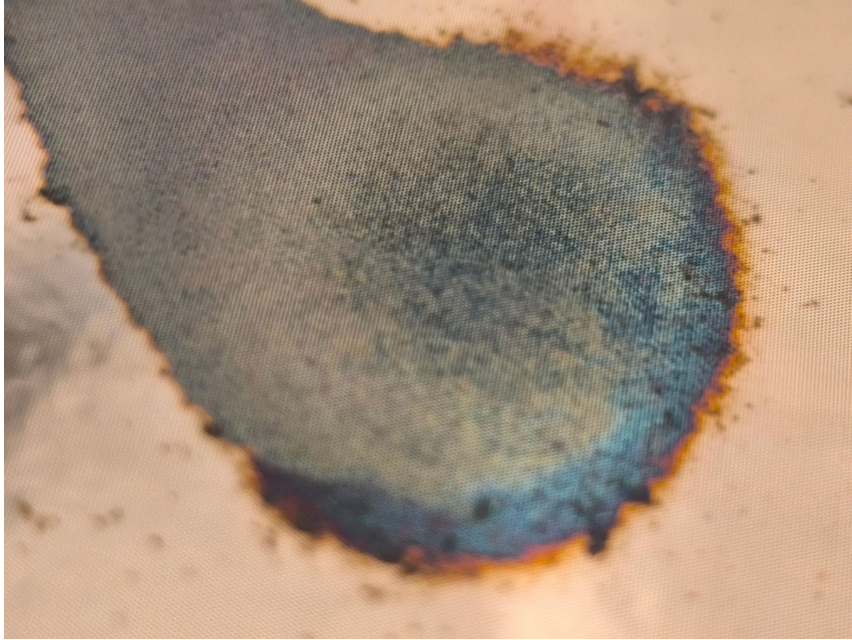
Surprisingly large current
Reduces secondary discharges
by reducing E_{Ind}

Discharges with a Current-Limiter on Bottom-side:

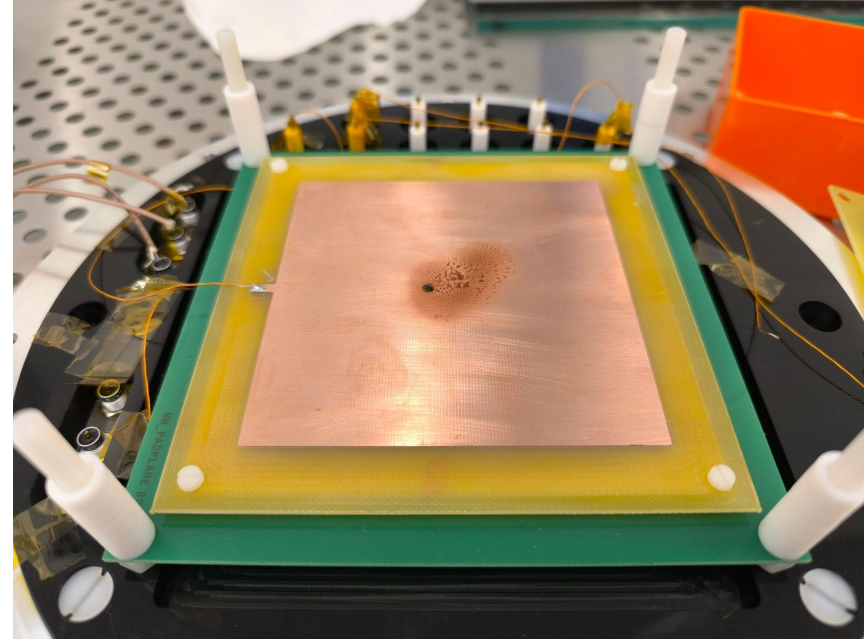
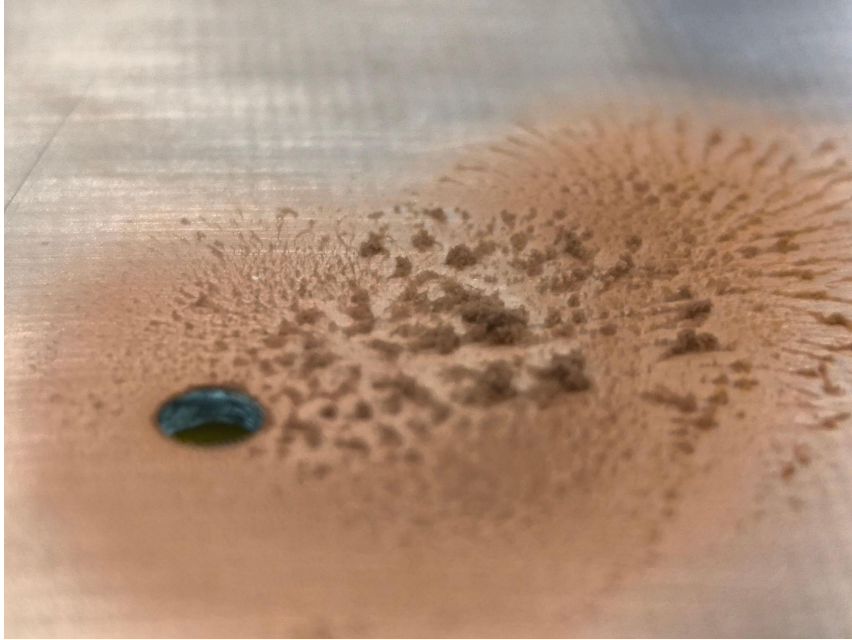


- Somehow the MOSFET survives that
 - Still, a bad Idea
- Effect appears at lower E-Fields than normal secondaries without Current-Limiter on Bot

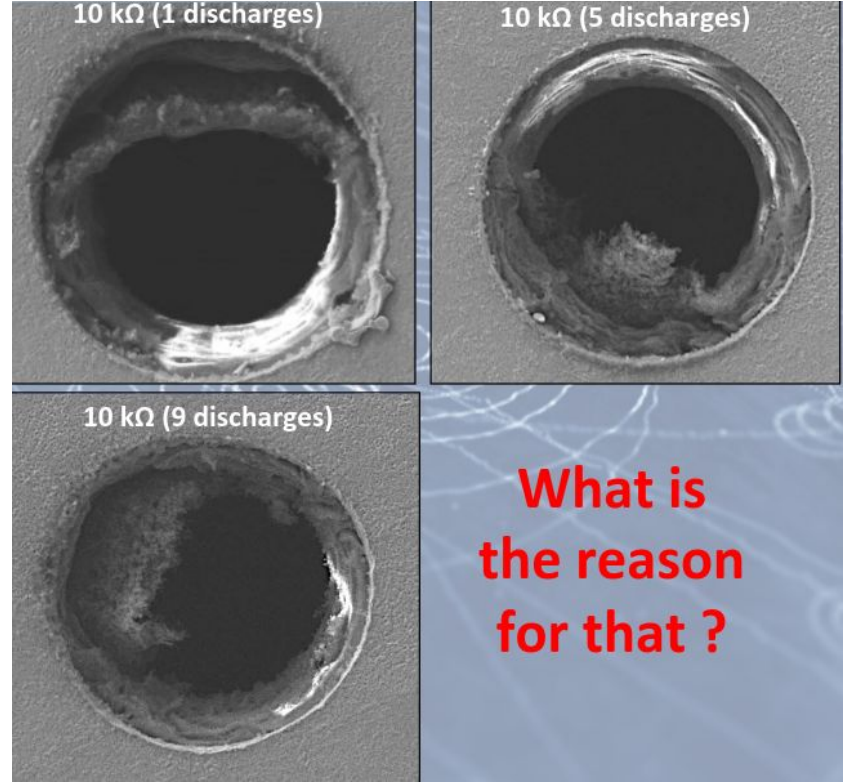
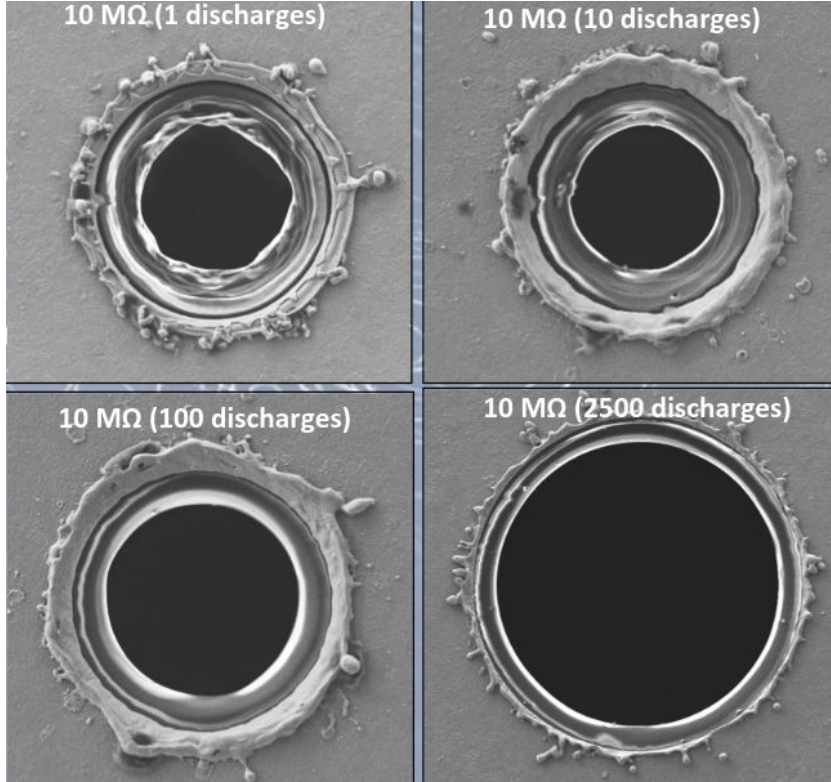
Destructive Effect of Discharges: GEM



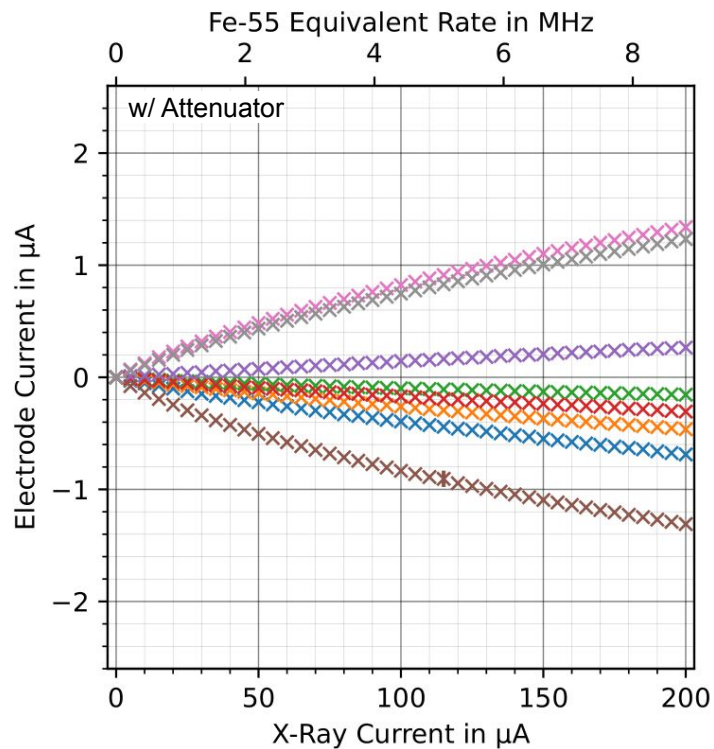
Destructive Effect of Discharges: Cathode



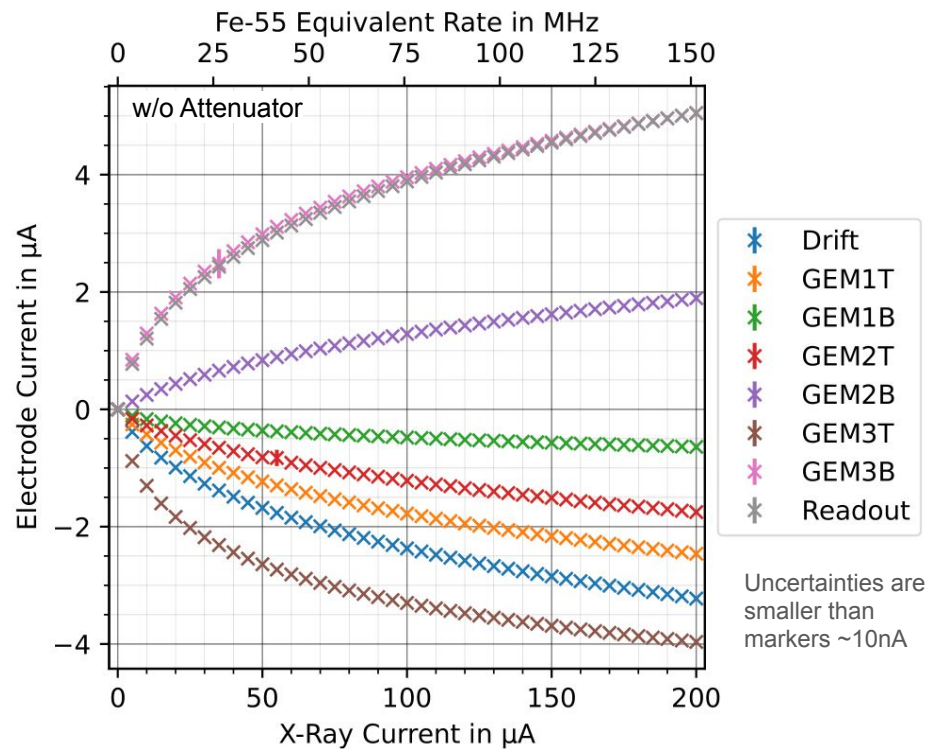
Merlin, RD51-Miniweek 2018:



PVD – Currents:

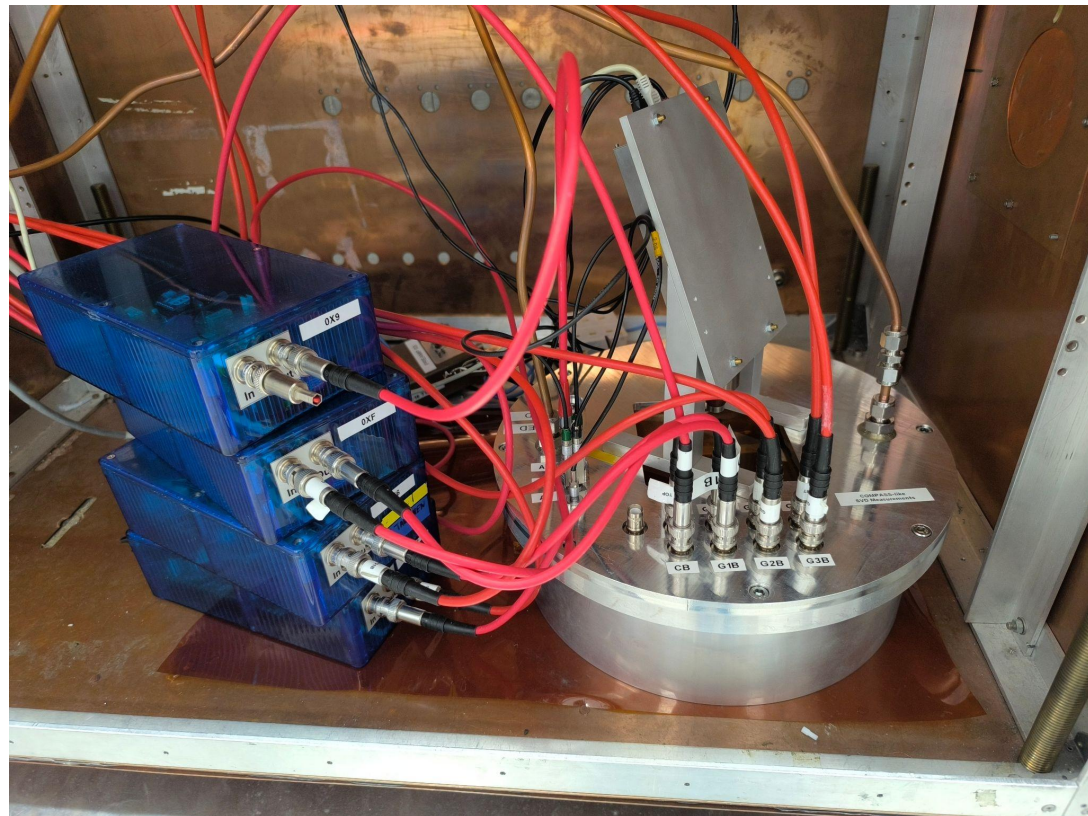
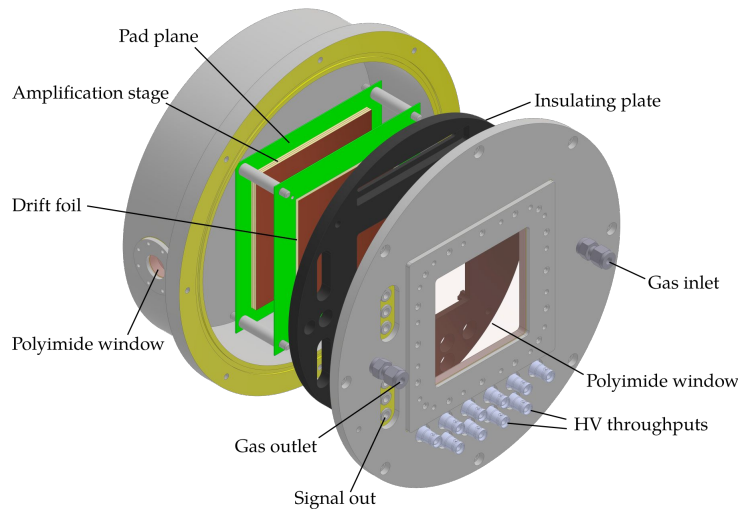


Compatible with charge flow in Detector

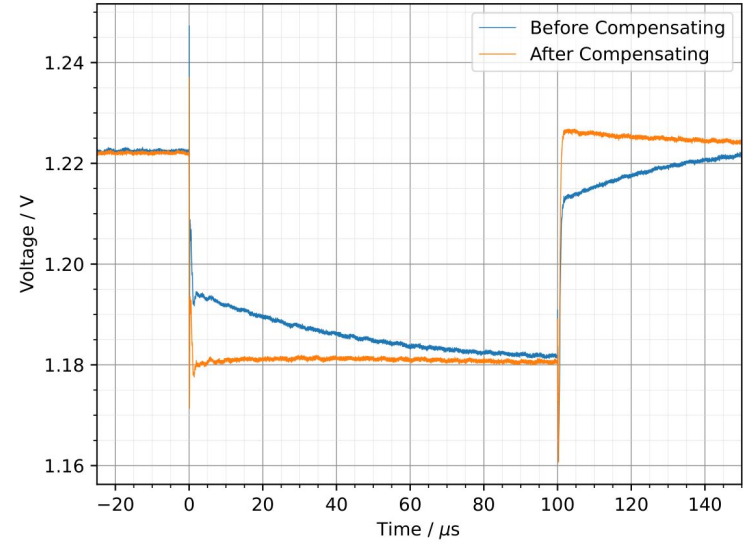
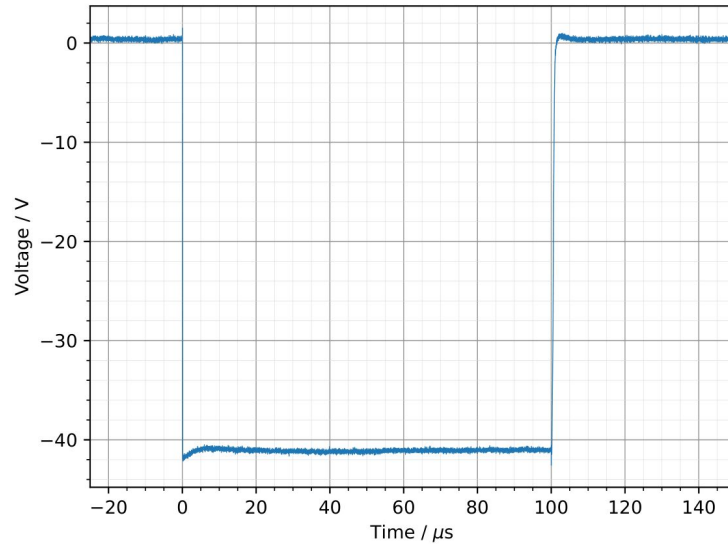


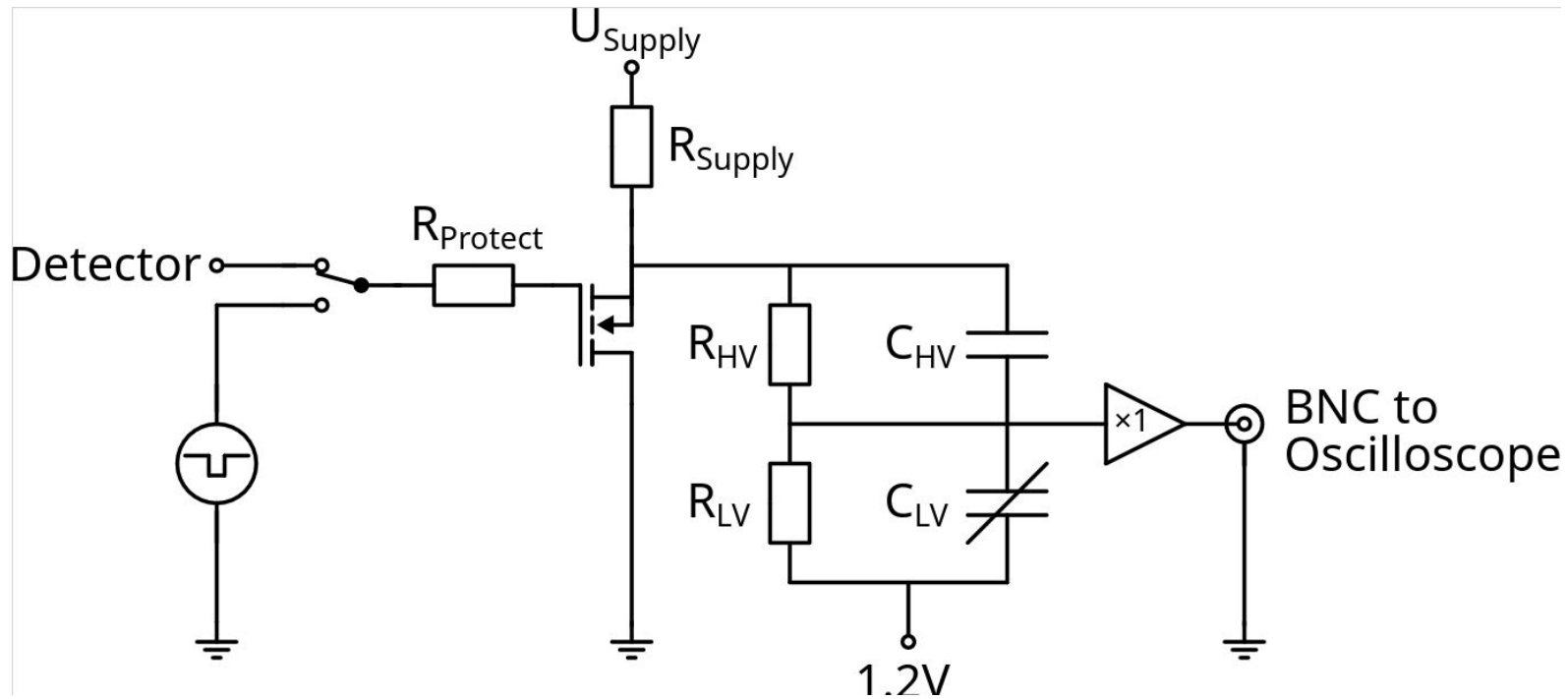
Does not behave linear with rising currents

Irradiation Setup:



Voltage Divider Compensation





Spectra:

