

# მიკროსტრუქტურული გაზური კამერები და მათი გამოყენება ატლას ექსპერიმენტში მიკრომეგას დეტექტორის მაგალითზე

## ალექსი ღონლაძე

ე.ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი  
ბირთვული კვლევების გაერთიანებული ინსტიტუტი, დუბნა

## ირმა ღონლაძე

ბირთვული კვლევების გაერთიანებული ინსტიტუტი, დუბნა  
(ი. მინაშვილი უმც., ლ. ღონლაძე, ზ. ჩუბინიძე)

### ელემენტარული ნაწილაკების რეგისტრაციის საერთო/ზოგადი პრინციპი:

დეტექტორების ნეიტრალურ გარემოში (გაზური, თხევადი, მყარი - ამორფული ან კრისტალური) მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი იწვევს გარემოს იონიზაციას, მისი ატომების ალგზნებას და პოლარიზაციას.

ამრიგად, ნაწილაკის მოძრაობის გზაზე ჩნდება თავისუფალი მუხტები (ელექტრონები და იონები), ალგზნებული და პოლარიზებული ატომები.

ნეიტრალური ნაწილაკები უშუალოდ არ იწვევენ იონიზაციას → დაფიქსირება შესაძლებელია გარემოს ატომების ბირთვებთან ურთიერთქმედებით დაბადებული მეორადი დამუხტული ნაწილაკების ხარჯზე.

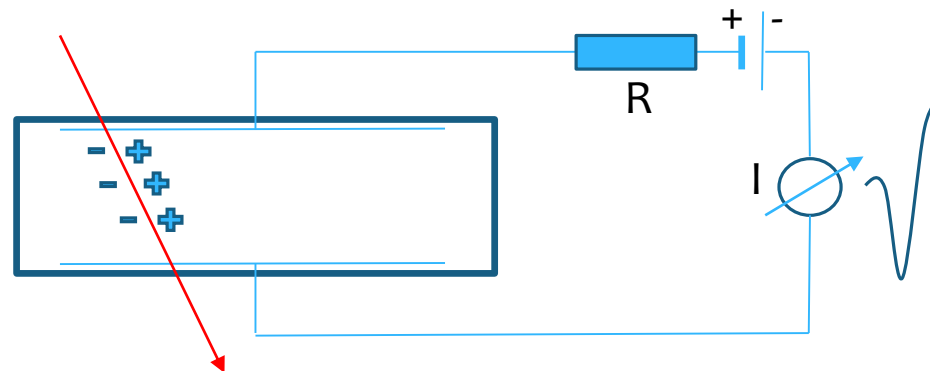
### ელემენტარული ნაწილაკების რეგისტრაციის საერთო/ზოგადი პრინციპი:

დეტექტორების ნეიტრალურ გარემოში (გაზური, თხევადი, მყარი - ამორფული ან კრისტალური) მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი იწვევს გარემოს იონიზაციას, მისი ატომების ალგზნებას და პოლარიზაციას.

ამრიგად, ნაწილაკის მოძრაობის გზაზე ჩნდება თავისუფალი მუხტები (ელექტრონები და იონები), ალგზნებული და პოლარიზებული ატომები.

ნეიტრალური უშუალოდ ნაწილაკები არ იწვევენ იონიზაციას → დაფიქსირება შესაძლებელია გარემოს ატომების ბირთვებთან ურთიერთქმედებით დაბადებული მეორადი დამუხტული ნაწილაკების ხარჯზე.

იმ შემთხვევაში, თუ დეტექტორს მოვათავსებთ ელექტრულ ველში, მაშინ აღიძვრება დენი რომელიც ფიქსირდება მოკლე ელექტრული იმპულსის სახით.



ელემენტარული ნაწილაკების დეტექტორები

ტრეკული დეტექტორები

კალორიმეტრები

ელემენტარული ნაწილაკების დეტექტორები

ტრეკული დეტექტორები

კალორიმეტრები

გაზური დეტექტორები

ნახევარგამტარული დეტექტორები

გაზური დეტექტორები

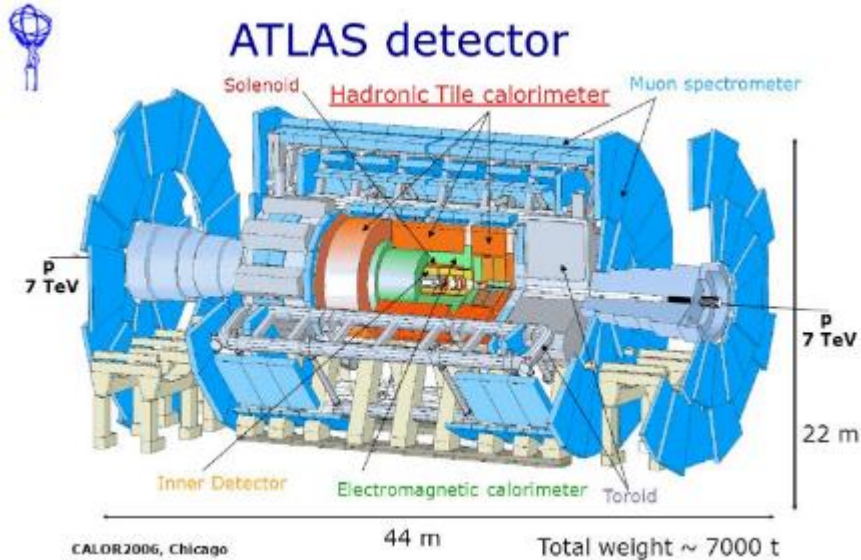
ნახევარგამტარული დეტექტორები

დეტექტორის გარემო	$\rho$ გ/სმ <sup>3</sup>	$\Delta E /$ წყვილი	# წყვილი/მმ
გაზი (Ar)	$10^{-3}$	30 ევ	3(9)
<del>თხევადი გაზი (LAr)</del>	<del>1,4</del>	<del>24 ევ</del>	<del><math>10^3</math></del>
ნ/გ (Si)	2.3	3.6 ევ	$10^5$

კალორიმეტრია

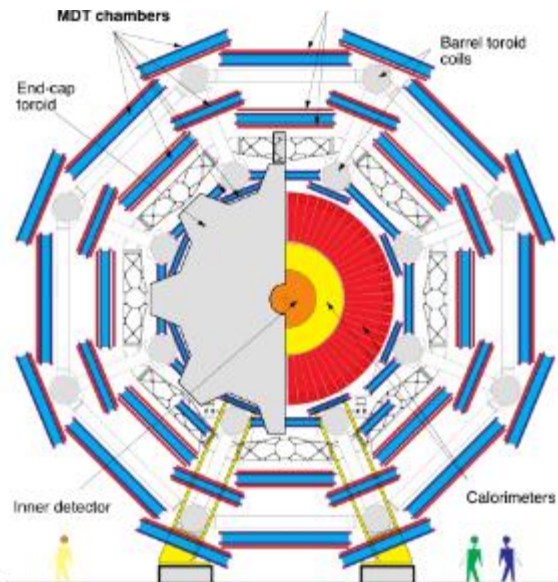
პრინციპში, ნახევარგამტარული დეტექტორები ყველაზე მიმზიდველია:  
 დიდი მგრძობიარობა, კომპაქტურობა, სტაბილურობა, უგრძობი მაგნიტური  
 ველებისადმი . მოიხმარენ დაბალ სიმძლავრეს, აქვთ დაბალი ხმაურის დონე.  
 პრაქტიკული შეზღუდვები: მათი ზომა, მასალის ჰომოგენურობა, მაღალი ღირებულება

# დღესდღეობით ერთადერთი გაზა დიდი მოცულობების ექსპერიმენტალური დანადგარების აღსაჭურვად გაზური დეტექტორების გამოყენებაა!!!



მაგალითი: ატლასის მიონური სპექტრომეტრი

Parameter	Barrel	Endcap	Total
Number of chambers	656	494	1150
Number of tubes	191 904	162 816	354 720
Total wire or tube length (km)	620	462	1082
Chamber area (m <sup>2</sup> )	3122	2399	5521
Pseudorapidity coverage	0–1	1–2.7	0–2.7
Chamber weight (t)	135	86	214
Gas volume (m <sup>3</sup> )	414	310	724



# გაზური კამერების მცირე ისტორიული ექსკურსი

- 1911 წ. - ვილსონის ანუ ღრუბლოვანი კამერა (Cloud chamber, T.R. Wilson), ნობელის პრემია 1927 წ.  
(გადაცივებული ორთქლი - წყლის კონდენსაცია იონების გარშემო)
- 1914 - გეიგერის მთვლეელი
- 1928 - გეიგერ-მიულერის მილი  
(ინერტული გაზი, ანოდის მავთული - ნაპერწკლოვანი განმუხტვა)
- 1930-ები - ბირთვული ემულსია (M.Blau)  
(ნაწილაკის მუხტი ინიცირებს ქიმიურ რეაქციას, რომელიც იწვევს ემულსიის გამუქებას)
- 1952 - ბუშტოვანი კამერა (Bubble chamber, D.Glaser), ნპ 1960 წ.  
(გადახურებული სითხე - გაზის ბუშტების წარმოქმნა იონების გარშემო)
- 1960-ები - ნაპერწკლოვანი კამერა (Spark chamber)



# გაზური კამერების მცირე ისტორიული ექსკურსი

1911 წ. - ვილსონის ანუ ღრუბლოვანი კამერა (Cloud chamber, T.R. Wilson), ნობელის პრემია 1927 წ.  
(გადაცივებული ორთქლი - წყლის კონდენსაცია იონების გარშემო)

~~1914 - გეიგერის მთვლეელი~~

~~1928 - გეიგერ-მიულერის მილი~~

(ინერტული გაზი, ანოდის მავთული - ნაპერწკლოვანი განმუხტვა)

1930-ები - ბირთვული ემულსია (M.Blau)

(ნაწილაკის მუხტი ინიცირებს ქიმიურ რეაქციას, რომელიც იწვევს ემულსიის გამუქებას)

1952 - ბუშტოვანი კამერა (Bubble chamber, D.Glaser), ნპ 1960 წ.

(გადახურებული სითხე - გაზის ბუშტების წარმოქმნა იონების გარშემო)

1960-ები - ნაპერწკლოვანი კამერა (Spark chamber)

„ფოტოფირული“ კამერები

# გაზური კამერების მცირე ისტორიული ექსკურსი

1968 წ. - მრავალ მავთულოვანი პროპორციული კამერა, (MWPC, G.Charpak), ნობელის პრემია 1992 წ.

1970-ები - დრეიფული კამერა

1986 - მიკროზოლოვანი გაზური კამერა (MSGC, A.Oed) - პირველი მიკროსტრუქტურული გაზური კამერა!

1996 - გაზური ელექტრონული გამამრავლებელი (GEM, F.Sauli)

1996 - მიკრობადური გაზური მოწყობილობა (Micromegas, I.Giomataris)

# MSGC

მზადდება მაღალი წინალობის მქონე საფენზე ( $10^9 - 10^{16}$  ომი/სმ) ფოტოლიტოგრაფიული მეთოდით.

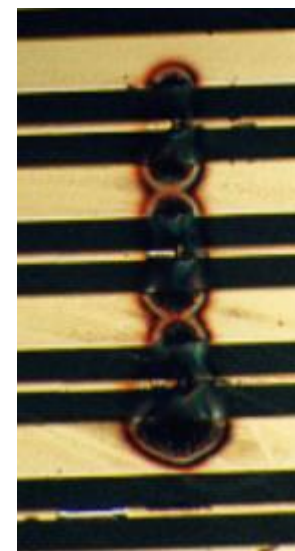
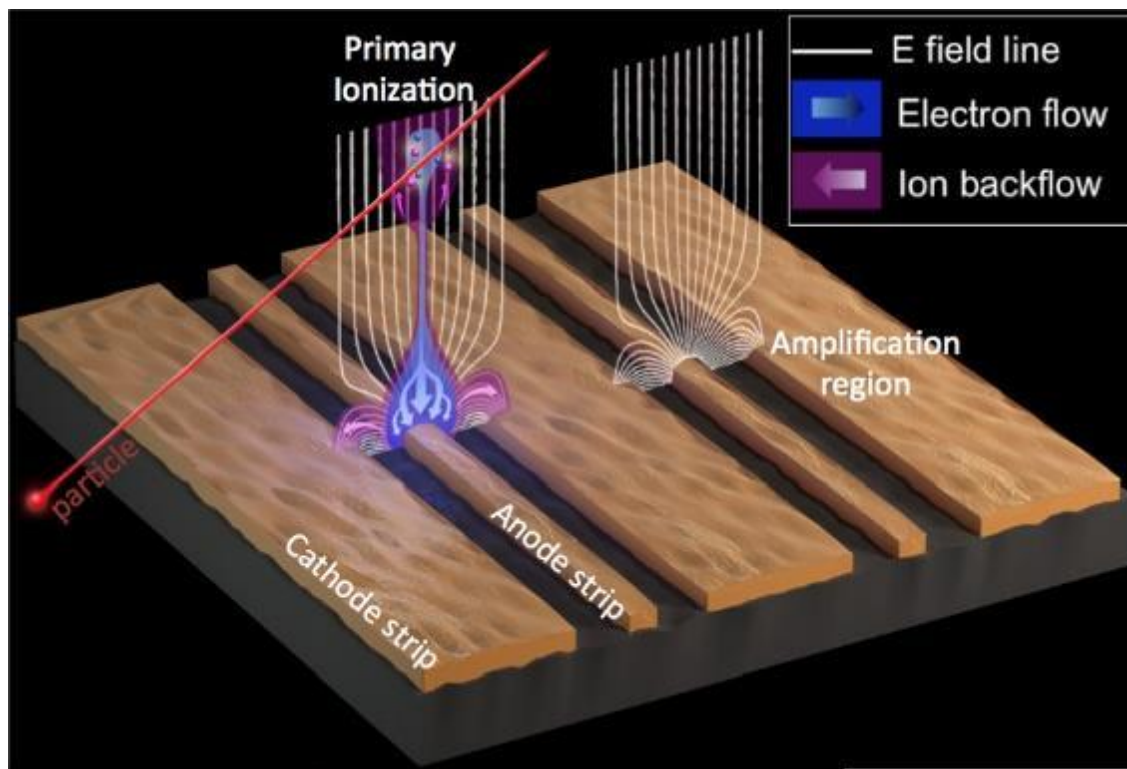
ზოლების (ანოდი, კათოდი) ბიჯი - 100-1000 მკმ

ანოდის სიგანე - 2-10 მკმ

ზოლებს შორის მანძილი - 50-100 მკმ

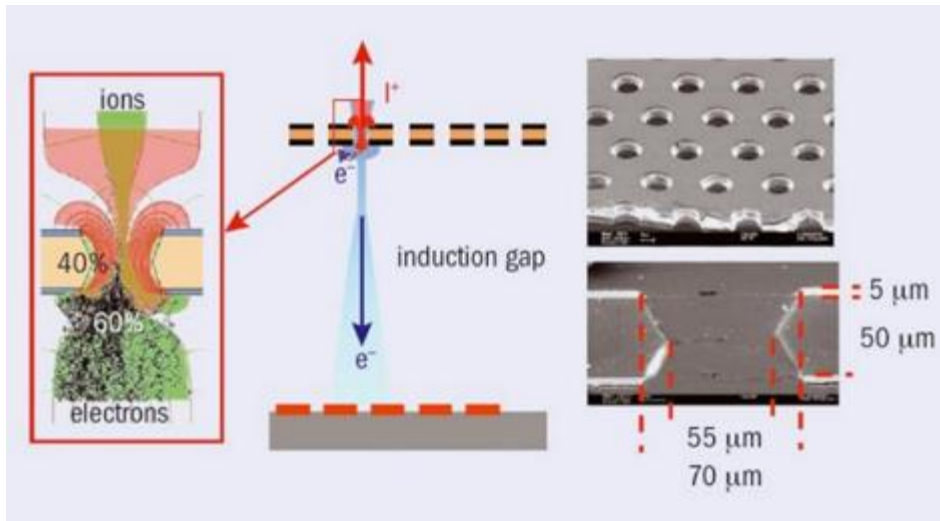
გაზური გაძლიერება -  $10^4$  (Ar)

თვლის სიჩქარე -  $10^6$  ჰერცი/მმ<sup>2</sup>



ფუნდამენტალური შეზღუდვები:  
დაბერება და ელექტრული განმუხტვა

# GEM

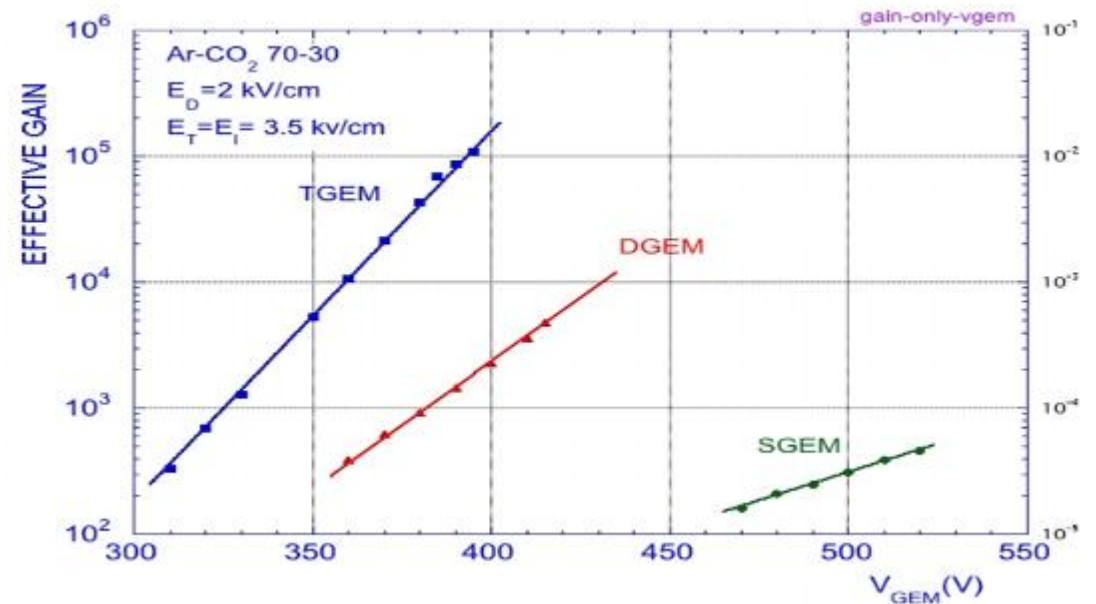


შედგება 2 მეტალის პერფორირებული ფენისაგან (5 მკმ სპილენძის კილიტა), რომლებიც გაყოფილია 50 მკმ იზოლაციური კაპტონის ფენით  
 გაზური გაძლიერება -  $10^3$ -მდე (ერთ საფეხურიანი GEM)  
 -  $10^5$

თვლის სიჩქარე -  $10^5$  ჰერცი/მმ<sup>2</sup>  
 ენერგიის გარჩევადობა - 18% FWHM 5,9 კეე-ზე (<sup>55</sup>Fe)  
 სივრცული გარჩევადობა - 50 მკმ



02/04/2017, უესტეკა, ა.ღოსტაძე, ი.ღოსტაძე





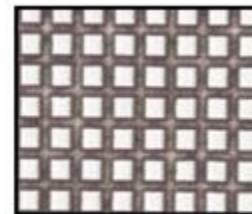
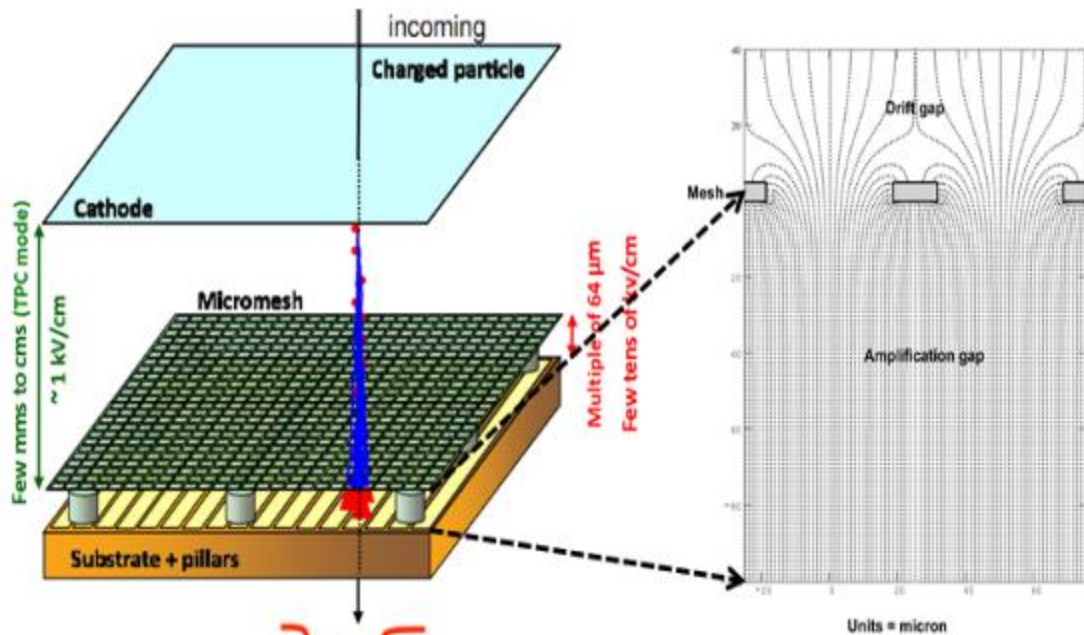
# MICROME GAS

## „Micromegas“ (MICRO-Mesh Gaseous Structure)

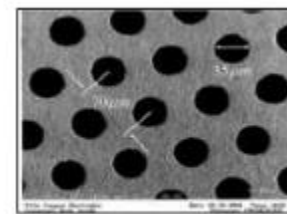


G.Charpak, I.Giomataris et al., NIM-A 376(1996) 29

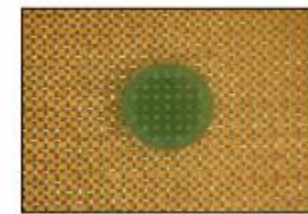
- პლანარული გეომეტრია
- მარტივი კომპონენტები: კათოდი, ამოკითხვის საბეჭდი დაფა, ბადე
- იაფი
- დიდი ფართობის დეტექტორების შექმნის შესაძლებლობა
- ინდუსტრიალიზაცია (სტანდარტული ფოტოლიტოგრაფია)



Electroformed



Chemically etched



Woven



Deposited by vaporization

მმ-ის სქემა და მისი ელექტრონული რუკა

# „მიკრომეგასის“ მუშაობის პრინციპი

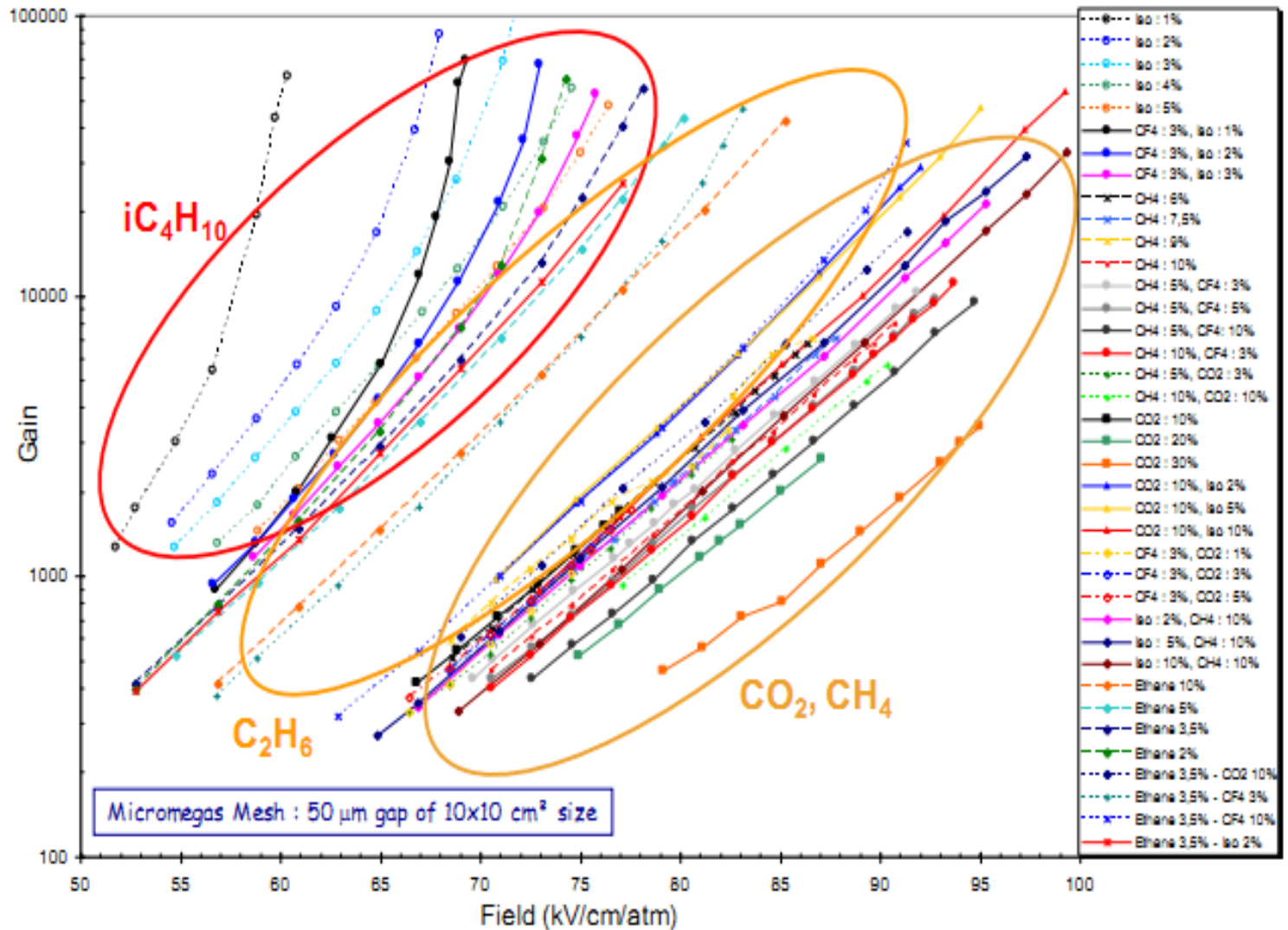
ვიწრო გაძლიერების/ზევაური გამრავლების არე (50-128 მკმ):

- ანოდზე მოსული ზევის განიკვეთი მცირეა  $\rightarrow$  მაღალი სივრცული გარჩევადობა (12 მკმ)
- ელექტრონებისა და იონების სწრაფი შეკრება (1 ნწმ და 30-100 ნწმ)
- მცირე სივრცული მუხტი  $\rightarrow$  მაღალი თვლის სიჩქარე (სტაბილური მუშაობა პროტონების კონაში  $2 \times 10^9$  Hz/mm<sup>2</sup> )
- ერთგვაროვანი გაძლიერების მაღალი ველი  $\rightarrow$  მაღალი გაძლიერების კოეფიციენტი ( $>10^5$ )
- $E_A/E_d \gg 10$   $\rightarrow$  ბადის  $\sim 100\%$  ელექტრონული გამჭირვალობა
- ენერგიის გარჩევის მაღალი უნარიანობა (11% FWHM 5,9 კეე <sup>55</sup>Fe და 1,8% 5,5 მეე <sup>241</sup>Am)

# „მიკრომეგასის“ მუშაობის პრინციპი

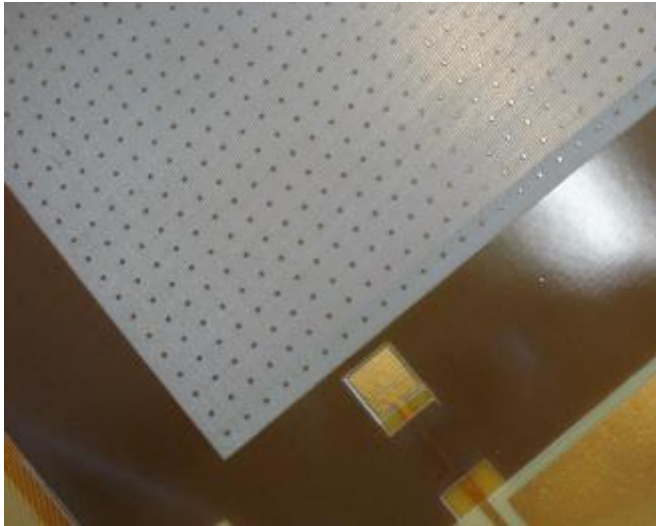
	Measured	Ultimate
SPATIAL RESOLUTION $\mu\text{m}$ (rms)	12 $\mu\text{m}$ in $\text{CF}_4$	< 10
TIME RESOLUTION ns (rms)	4.5	< 1
ENERGY RESOLUTION at 5.9 keV (FWHM)	13%	13%
SIGNAL to NOISE for M.I.Ps	> 100	> 100
RADIATION HARD ( $\text{mC}/\text{mm}^2$ )	10 - 30 years of LHC	> 30
RISE TIME OF THE FAST SIGNAL (ns)	< 1	< 1

## Gain curves for argon mixtures

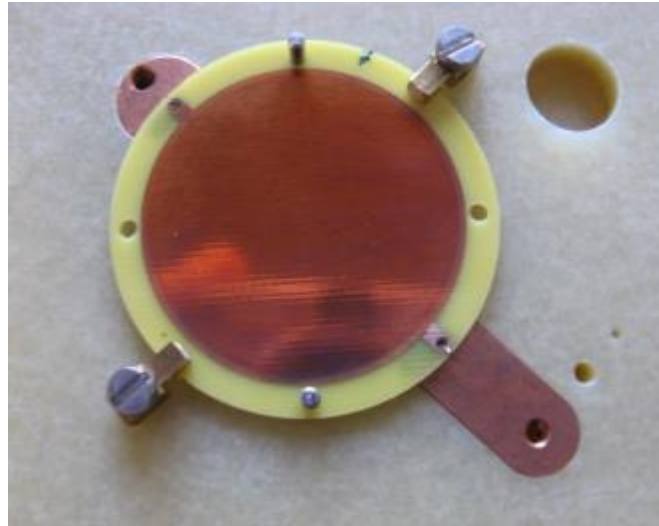


# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

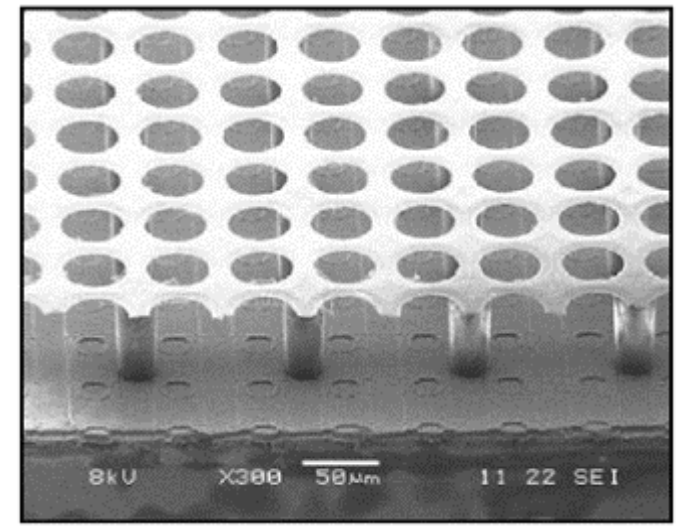
**Bulk MM**



**Microbulk MM**



**InGrid**



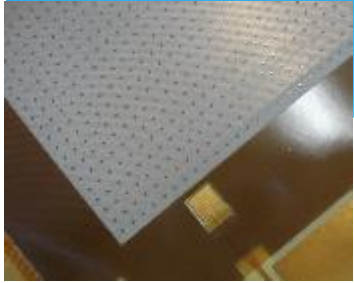
+ Piggyback, Floating Strip Micromegas, ...



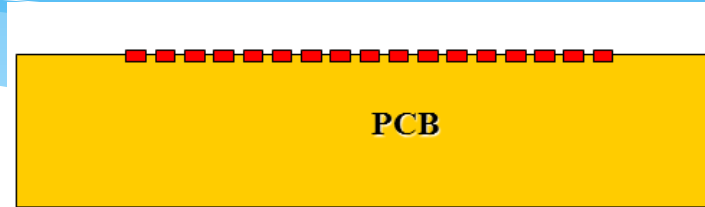
# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Bulk MM

(I. Giomataris et al., «Micromegas in a bulk,» NIMA 560 (2006) 405)

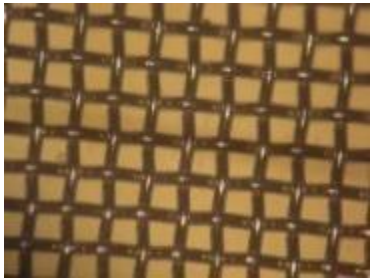


1) Gerber file → PCB industry →



+ფოტონილაბი

2) ფოტორეზისტიული ფირით ლამინირება  
DuPont Pyralux PC1000 (25, 38, 51 და 64 მკმ)



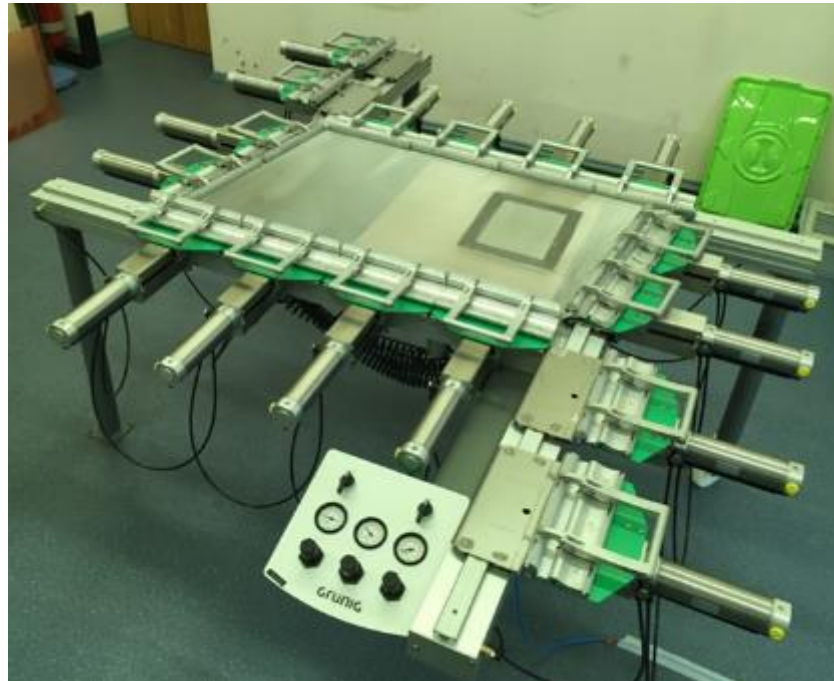
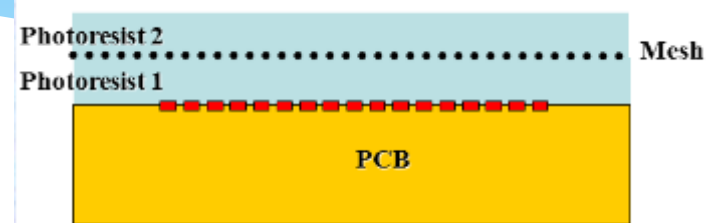
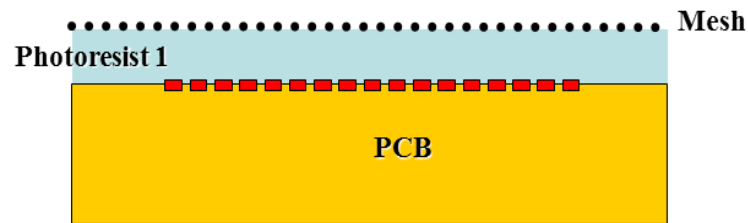
Photoresist 1



# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Bulk MM

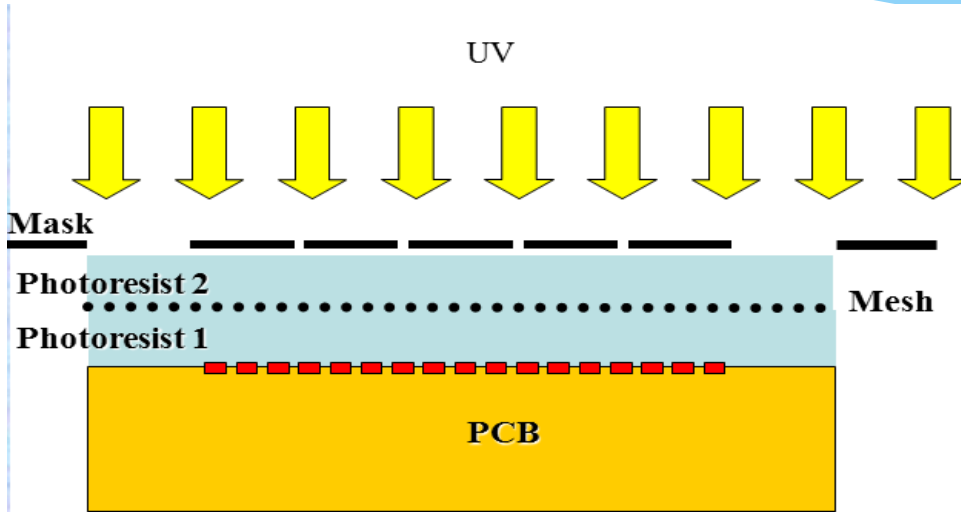
3)-4) ჩარჩოზე დამაგრებული ბადის დადება და კიდევ ერთხელ ლამინირება ბადის შესაკავებლად



# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Bulk MM

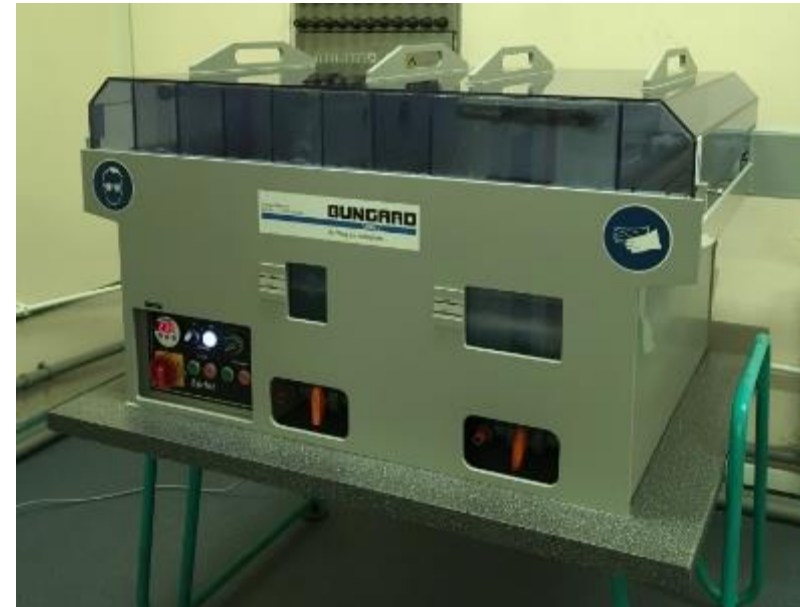
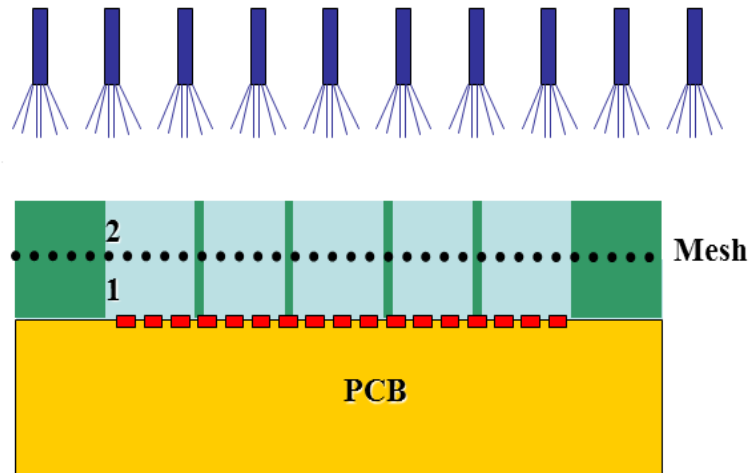
5) მიღებულ სტრუქტურაზე იდება ფოტონილაბი და ხდება ულტრაიისფრით დასხივება



# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Bulk MM

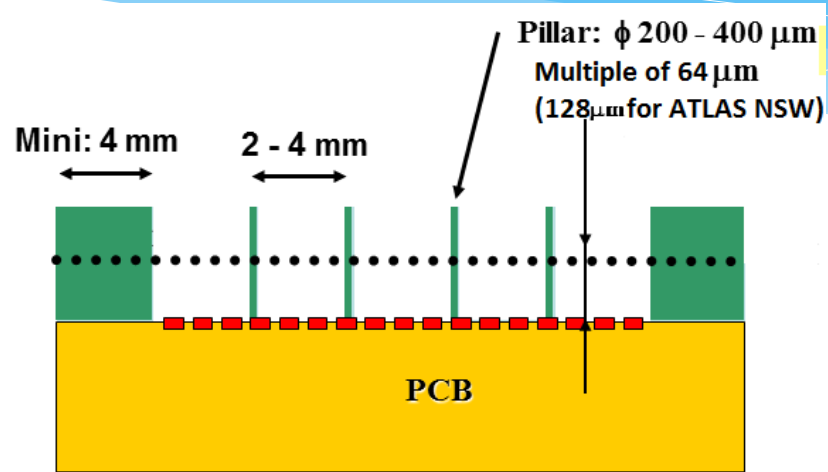
6) ქიმიური მოწამვლა 1% ნატრიუმის კარბონატის ხსნარით (E500 კვების მრეწველობაში).



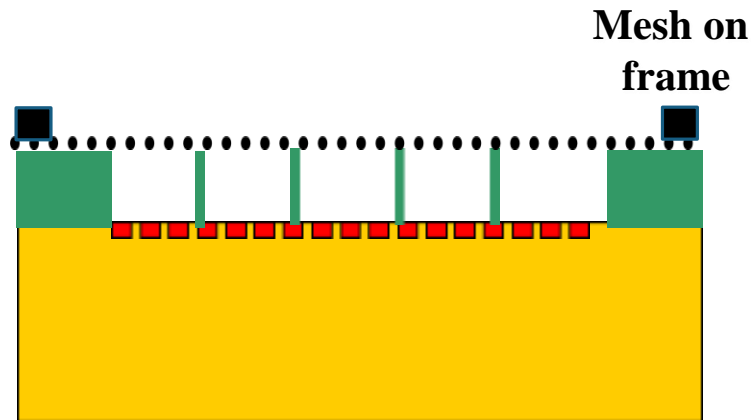
# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Bulk MM

7) დეიონიზირებული წყლით გარეცხვა და გამრობა საშრობ კარადაში (4 საათი 140°C).



Bulk



Floating mesh

# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Bulk MM

- ✓ დამზადების სიმარტივე და სიიაფე
  - ✓ დიდი ფართობის მქონე დეტექტორების შექმნის საშუალება
  - ✓ მცირე ტევადობა და შესაბამისად მცირე ხმაური
  - ✓ კარგი გაზური გაძლიერება ( $2 \times 10^4$  Ar +5%  $iC_4H_{10}$ )
  - ✓ მისაღები ენერგიის გარჩევადობა (18% FWHM 5,9 კ.ე.ვ.  $^{55}Fe$ )
- 
- ✓ სიგნალის მატების დიდი დრო (60 ნწმ 75 მკმ და 150 ნწმ 150 მკმ გაძლიერების არეებისათვის/ღრეჩოებისთვის)
  - ✓ გარემოს წნევისადმი მაღალი მგრძობიარობა

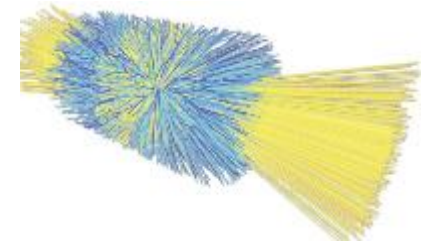


# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“

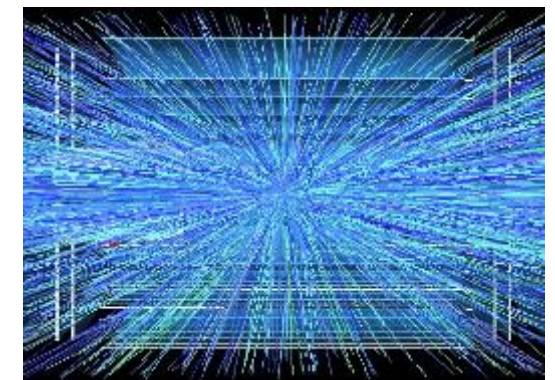
დაკ-ის განათებულობის გაზრდის გეგმა



pile-up in ATLAS:



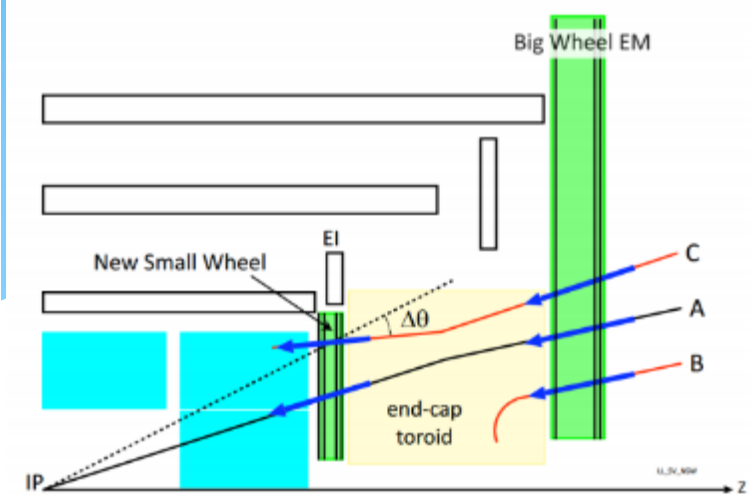
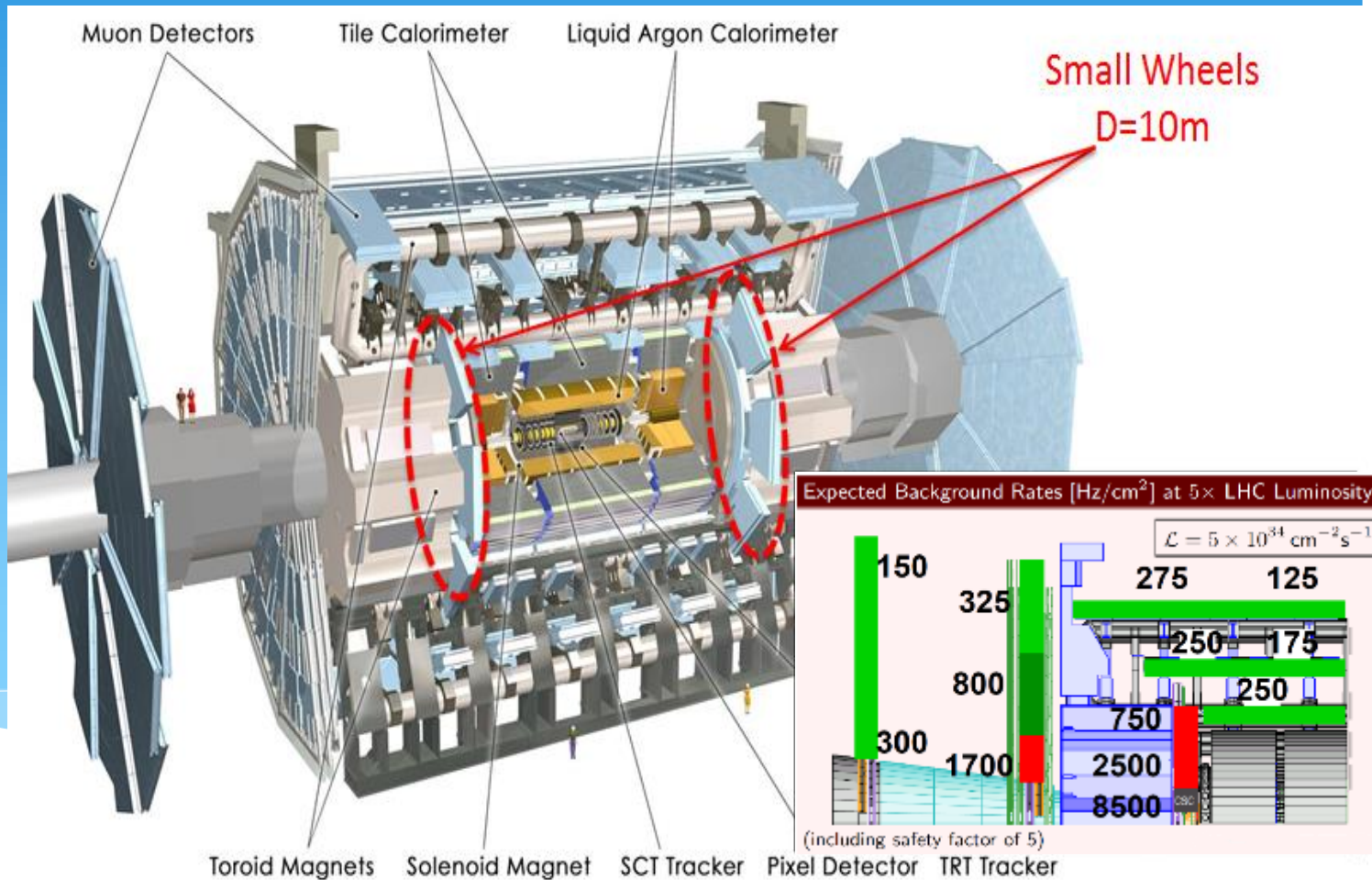
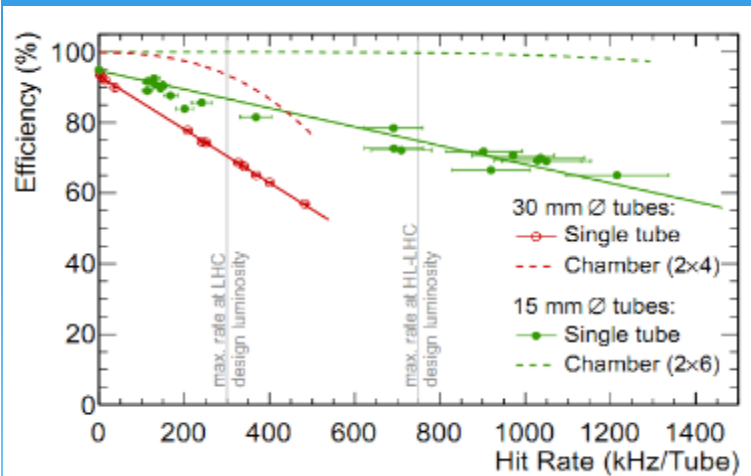
200 vertices in 2022



# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“

## მცირე ბორბლების შეცვლის მიზეზები

- MDT-ს მახასიათებლების დეგრადაცია
- ყალბი ტრიგერების დიდი რაოდენობა (90% 2012-ის მონაცემებში)





# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“

## კოლაბორაციის 2012 წლის გადაწყვეტილება:

„მზ“-ის „ამზ“-ით შეცვლა.

„ამზ“ გაწყობა sTGC & მიკრომეგას კამერებით

### 1) sTGC როგორც მთავარი ტრიგერული კამერები:

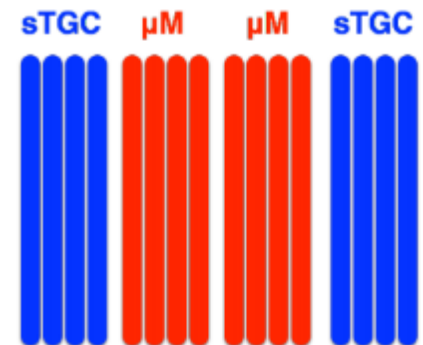
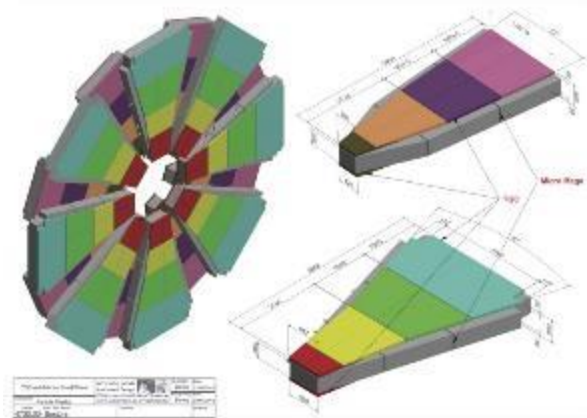
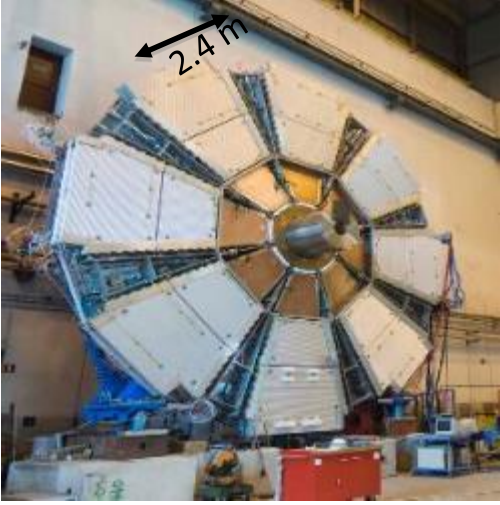
- გარეთა ფენა → დიდი მკლავი
- ტრეკის კუთხური გარჩევადობა  $< 1 \text{ mrad}$
- კარგი სივრცული გარჩევადობა. წვლილი ტრეკის ოფლაინ აღდგენაში.

### 2) მმ როგორც მთავარი კოორდინატული კამერები:

- 450 მკმ ბიჯი – ძალიან კარგი სივრცული გარჩევადობა ტრეკის კუთხის მიუხედავად (100 მკმ), ტრეკის დაცალკევების შესანიშნავი შესაძლებლობის უნარი
- დამატებითი ტრიგერის შესაძლებლობა

ყოველი მმ-ის სოლი შედგება ერთმანეთისგან 10 სმ დაშორებულ 2 მულტიშრეში (კვადრუპლეტი) განლაგებულ 8 აქტიური ფენისაგან.

- ⇒  $> 2M$  მონაცემთა ამოკითხვის არხი
- ⇒ მთლიანობაში  $\sim 1300 \text{ მ}^2$



# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“

## „ამბ“ -ს სპეციფიკაცია და მოთხოვნები

თავსებადობა არსებული კოორდინატული დეტექტორებისა და endcap-ის ელაიმენტის სისტემებთან

→ პრეციზიული კოორდინატების (სტრიპების) პარალელულობა EM და EO სადგურების დრეიფულ მილებთან 2 mrad ფარგლებში

→ ისეთივე სეგმენტაცია 16 სექტორად, როგორც არსებული „მბ“

- მომენტის გარჩევადობა: უკეთესი ვიდრე 15 %  $p_t = 1 \text{ TeV}$
- ცალკეული სიბრტყის გარჩევადობა : 100 მკმ, ტრეკის კუთხის მიუხედავად
- ტრეკის სეგმენტის რეკონსტრუქცია: 50 მკმ
- ტრეკის სეგმენტის ეფექტურობა :  $\geq 97\% @ p_t > 10 \text{ GeV}$
- კუთხური გარჩევადობა ონლაინში (ტრიგ.):  $\leq 1 \text{ mrad}$
- მე-2 კოორდინატის სივრცული გარჩევადობა : ~სმ, სტერეო სტრიპებიდან
- დატვირთვა: 15 kHz/cm<sup>2</sup>
- აკუმულირებული მუხტი : 1 C/cm<sup>2</sup> (3000 fb<sup>-1</sup> დეგრადაციის გარეშე)

# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“

## განლაგება

IP მხარე: მცირე სექტორები,  
გადაფარვის არე  $r = 90$  სმ-დან  $445$   
სმ-მდე

IP საწ.მხარე: დიდი სექტორები,  
გადაფარვის არე  $r = 92$  სმ-დან  
 $465$  სმ-მდე

გადაფარვა დიდ და მცირე სექტორებს  
შორის

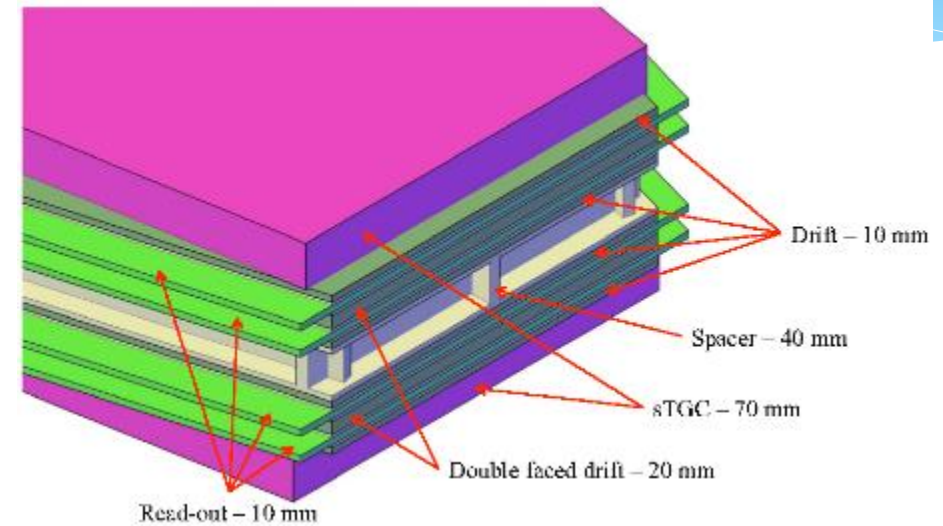
სექტორები: Package of sTGC and  
MicroMegas “wedges” + central spacer  
frame



# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“

## მმ-ის მახასიათებლები და სამუშაო პარამეტრები

- ბადე: უჟანგავი ფოლადი, 325 lines / inch
- სამუშაო გაზი: Ar:CO<sub>2</sub> (93:7)
- გაძლიერების არე: 128 მკმ,
- იონიზაციის/დრეიფული არე: 5 მმ
- გაძლიერების ველი: 40 კვ/სმ
- დრეიფული ველი: 600 ვ/სმ
- სტრიპების ბიჯი: 0,425-0,445 მმ
- რეზისტული სტრიპები: 20-30 მომი/სმ
- HV (რეზისტული სტრიპები): 550 ვ (ბადე GND)



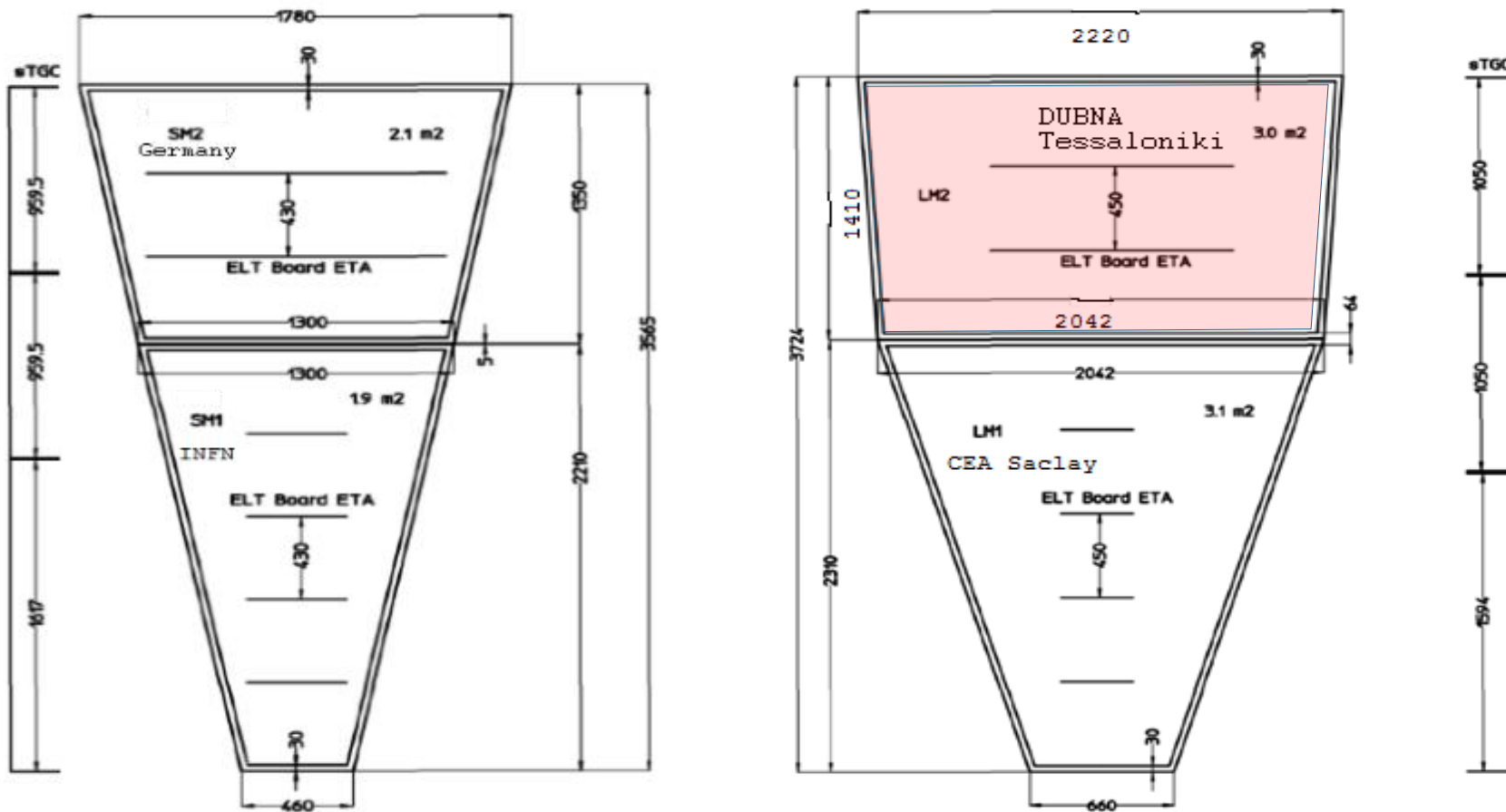
### კვადრუპლექტისთვის:

- 2 შრე ეტა სტრიპები
- 2 შრე სტერეო სტრიპები ( $\pm 1.5^\circ$ )
- მექანიკური სიზუსტე: 40 მკმ



# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“

## ბკგი-ის ვალდებულება



### JINR, Dubna:

- ყველა 64 RO მოდულის დამზადება და ტესტირება
- ყველა 32 კვადრუპლეტის აწყობა და ტესტირება

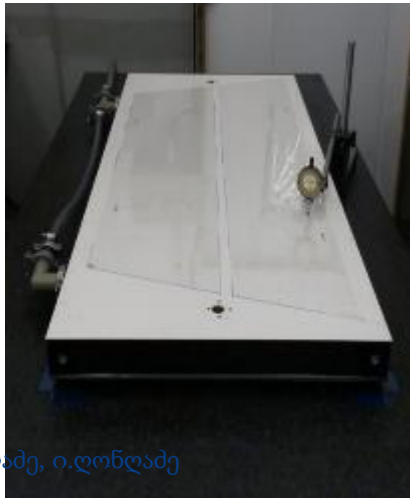
### AUTh, Thessaloniki :

ყველა 96 დრეიფული მოდულის დამზადება და ტესტირება

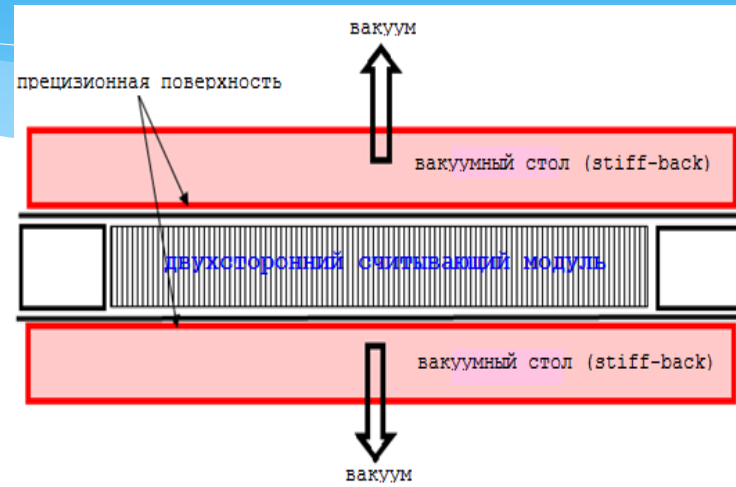
რეკორდული ზომები მიკროსტრუქტურულ გაზურ დეტექტორებს შორის (მაგ. GEM-ის მაქსიმალური ზომა 100x70 სმ)

# „ატლასის“ განახლება - „ახალი მცირე ბორბლები“ ტექნიკური დეტალები

## ვაკუუმური მაგიდა (Stiffback)



## აწყობის პრინციპიული სქემა



## კვადრუპლეტის პროტოტიპი

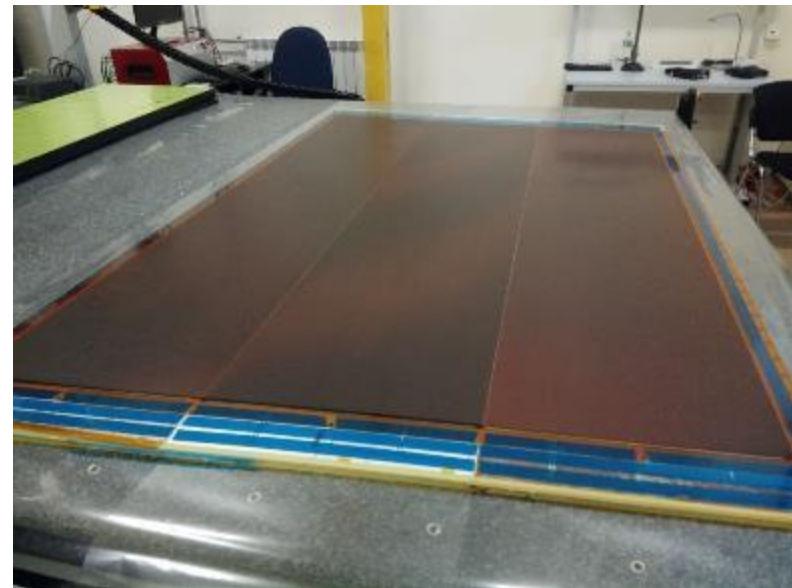




# წარმოების და ტესტირების ზოგიერთი ეტაპები დუბნაში

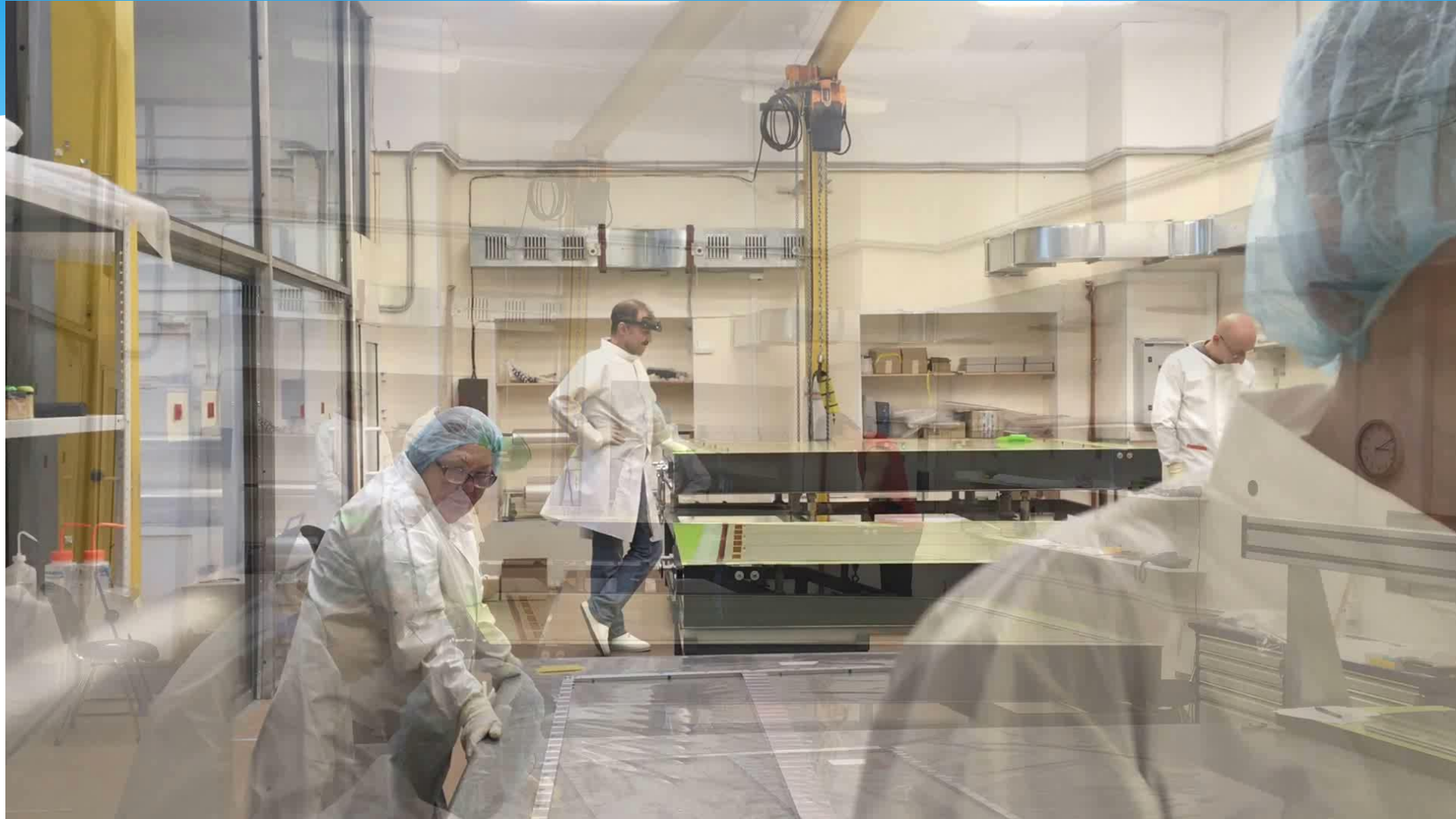


# წარმოების და ტესტირების ზოგიერთი ეტაპები დუბნაში



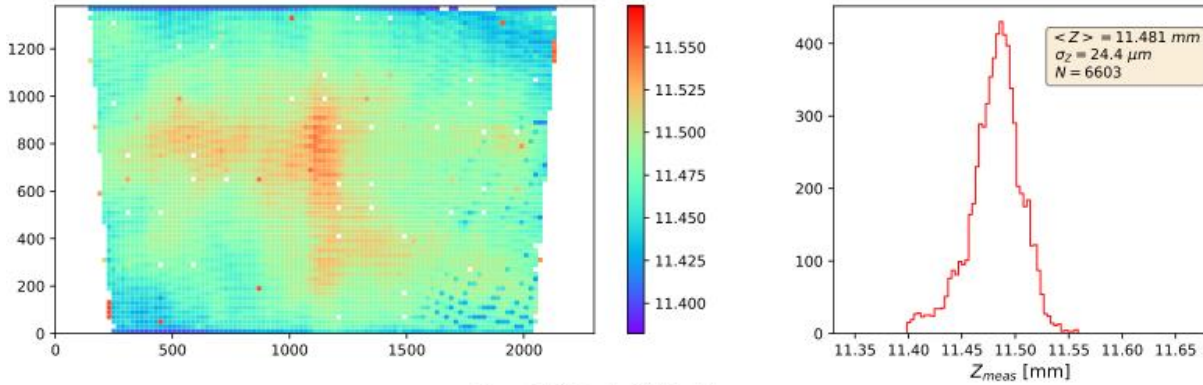


# წარმოების და ტესტირების ზოგიერთი ეტაპები დუბნაში

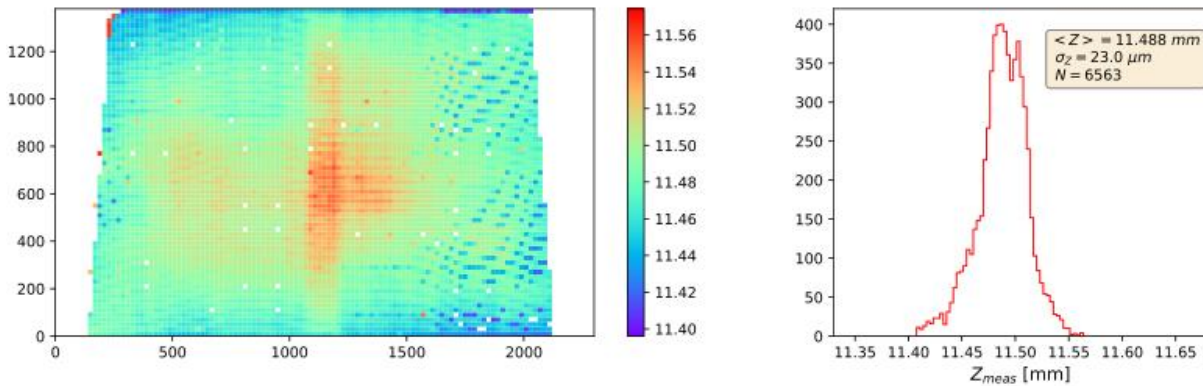


# წარმოების და ტესტირების ზოგიერთი ეტაპები დუბნაში

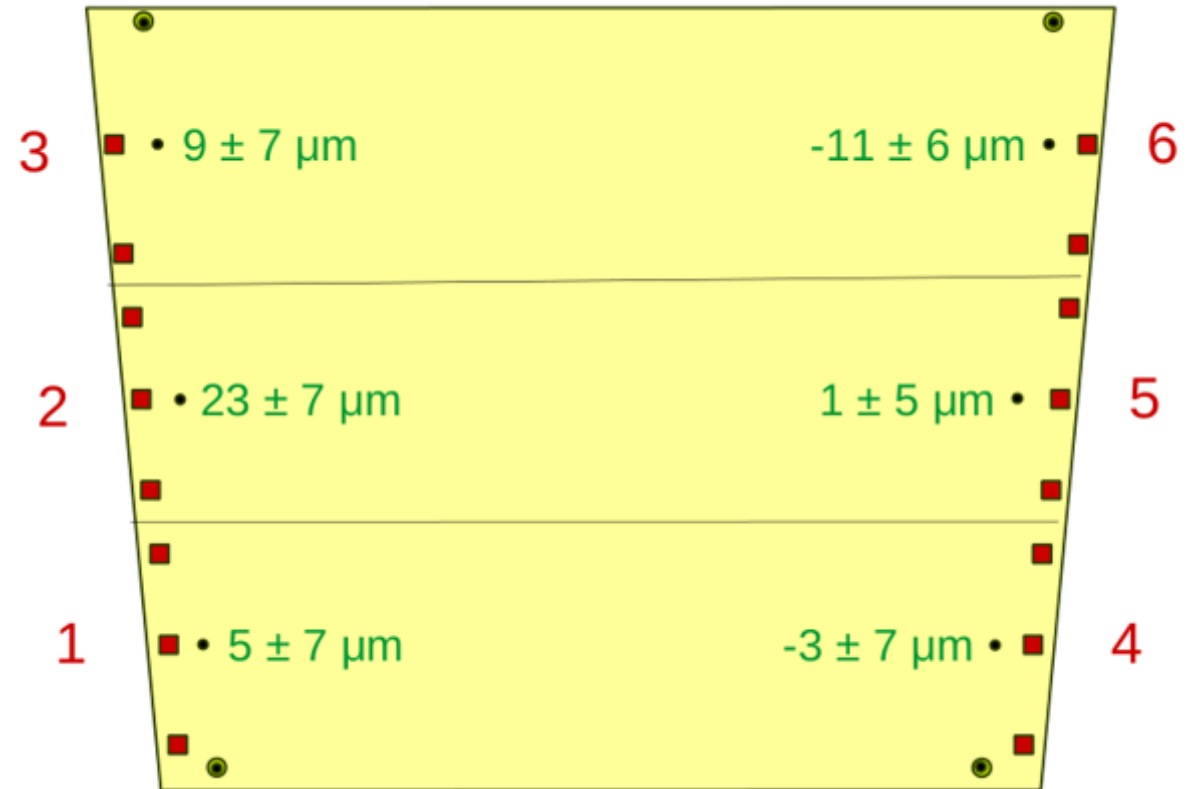
Panel LM2\_eta\_07\_top



Panel LM2\_eta\_07\_bottom



Middle masks mean shifts with statistical uncertainties



# წარმოების და ტესტირების ზოგიერთი ეტაპები დუბნაში

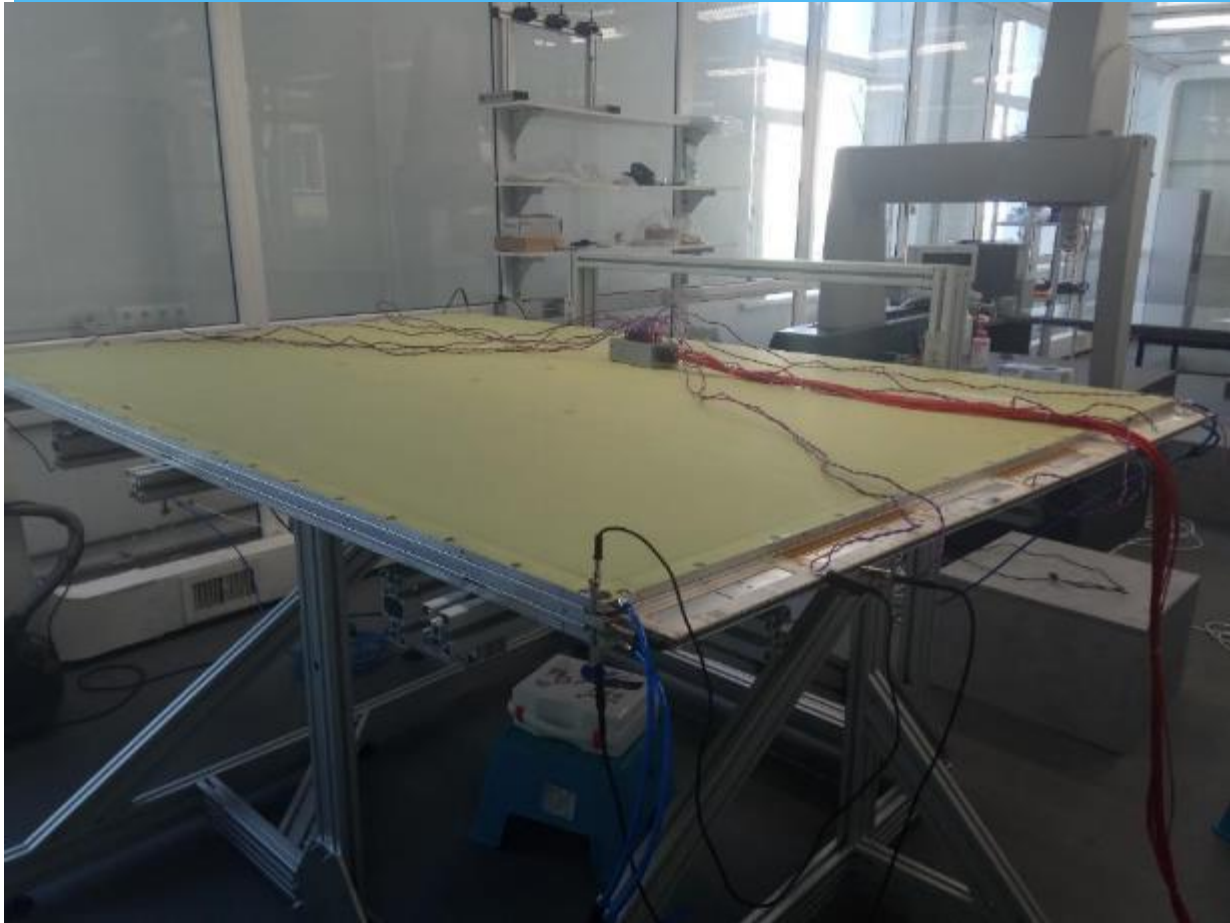
Panel	Top Side pressure drop mBar/h	Bottom Side pressure drop mBar/h	Panel	Top Side pressure drop mBar/h	Bottom Side pressure drop mBar/h
Eta-01	0.59	0.34	Stereo-01	0.36	0.35
Eta-02	0.21	0.35	Stereo-02	0.24	0.23
Eta-03	0.21	0.31	Stereo-03	0.57	0.22
Eta-04	0.32	0.14	Stereo-04	0.31	0.38
Eta-05	0.4	0.38	Stereo-05	0.32	0.42
Eta-06	0.34	0.35	Stereo-06	0.39	0.58
Eta-07			Stereo-07	0.46	0.39

# წარმოების და ტესტირების ზოგიერთი ეტაპები დუბნაში





# წარმოების და ტესტირების ზოგიერთი ეტაპები დუბნაში



<b>RH</b>	<b>Maximum voltage (V) in air</b>
1-3%	970--1000
10%	970
30%	940
50%	850
<b>RH</b>	<b>Maximum voltage (V) in Ar/CO2</b>
1-3%	600-610
10%	590
30%	560-570
50%	500



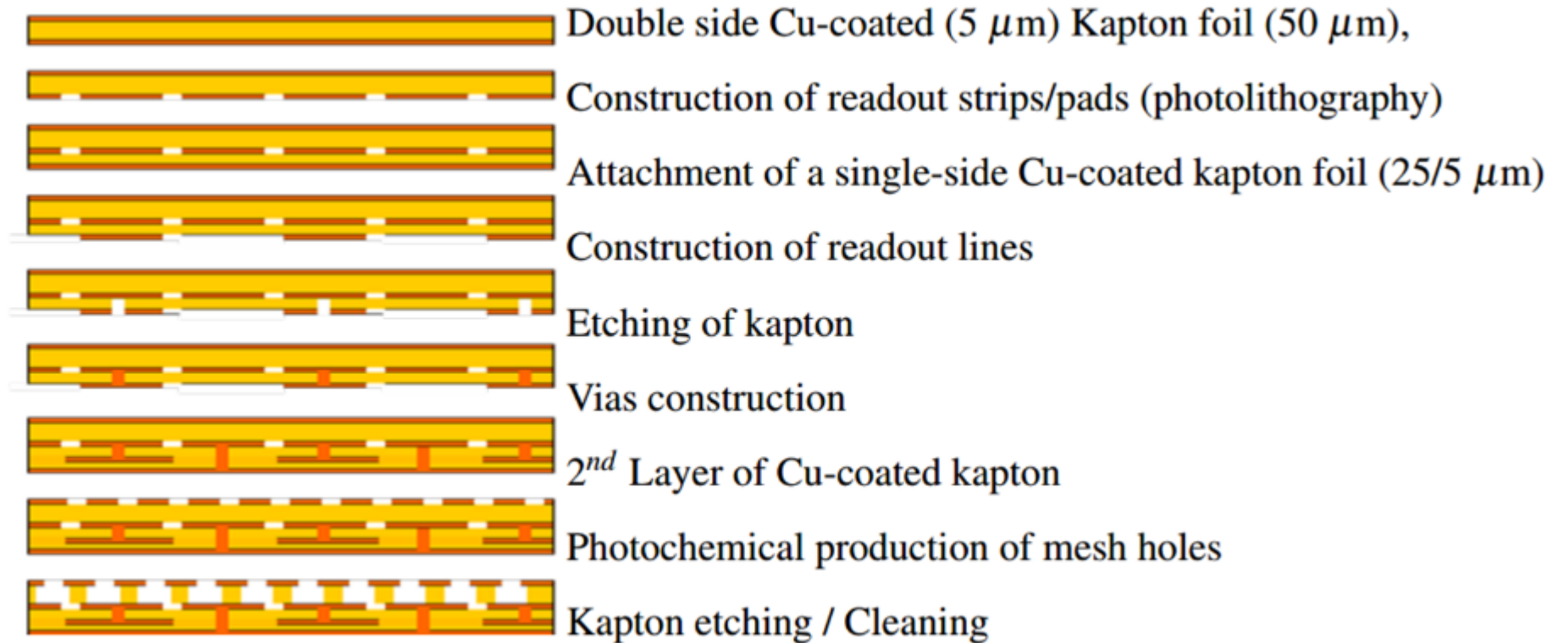
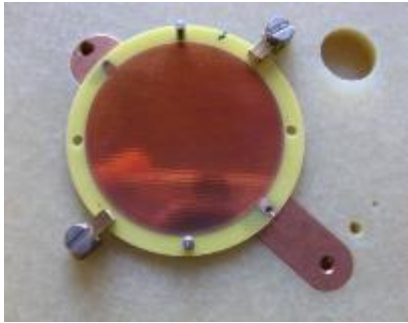
**დიდი მადლობა!!!**



# *Extra Slides*

# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Microbulk MM





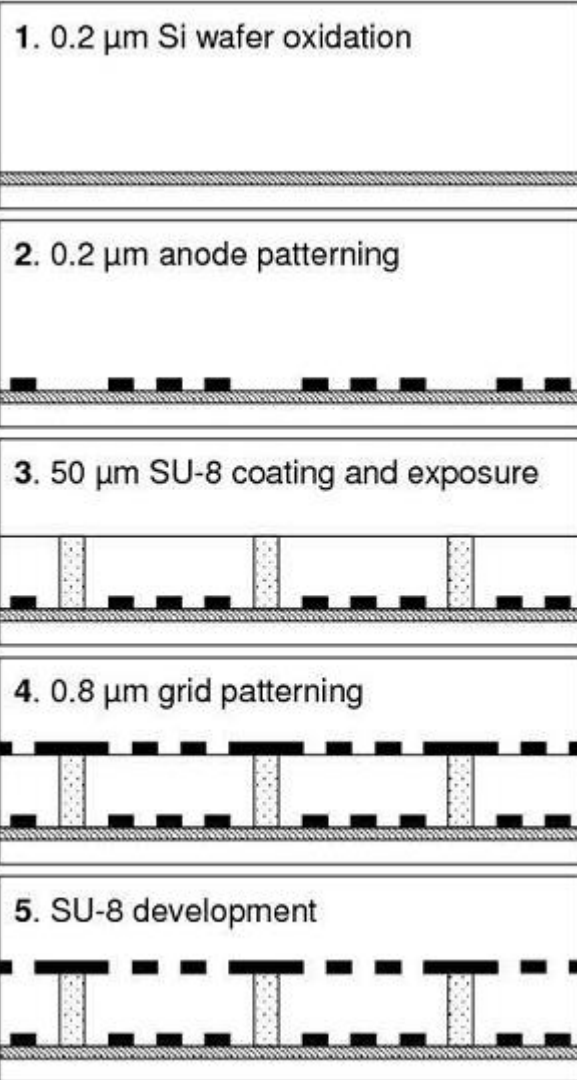
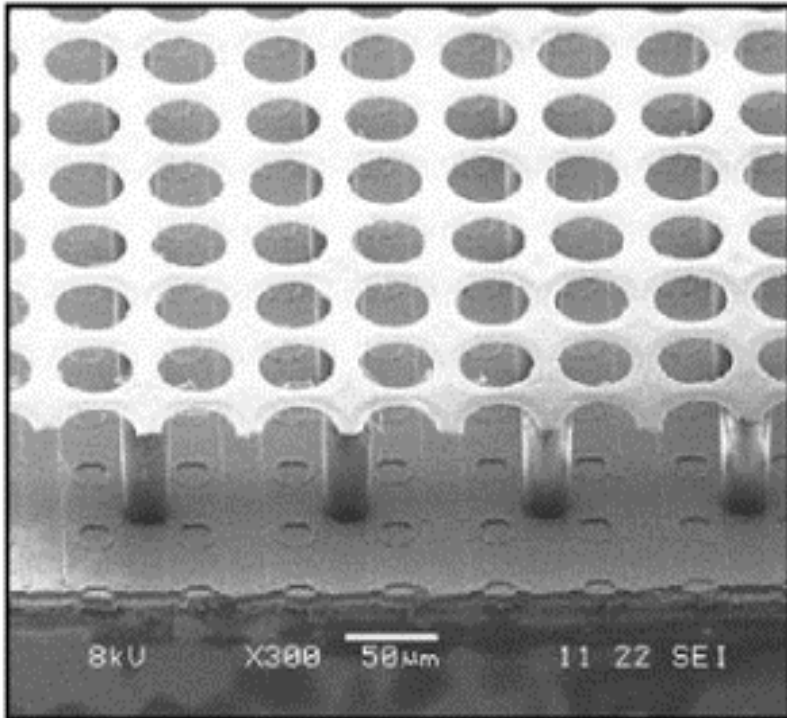
# „მიკრომეგასის“ ტიპები:

## Microbulk MM

- ✓ გაძლიერების ღრეჩოს მაღალი ერთგვაროვნება. ამის გამო MPGD დეტექტორებს შორის ენერგიის რეკორდული გარჩევადობა (11% FWHM 5,9 კ.ე.ვ.  $^{55}\text{Fe}$  და 1,8% 5,5 მ.ე.ვ  $^{241}\text{Am}$  Ar +5%  $\text{iC}_4\text{H}_{10}$ )
  - ✓ მასალების მცირე რაოდენობა
  - ✓ ხანგამძლე სტაბილურობა
- 
- ✓ შედარებით მაღალი ტევადობა და შესაბამისად მეტი ხმაური
  - ✓ სიმეიფე
  - ✓ გაძნელებული ტექნიკური მომსახურება

# „მიკრომეგასის“ ტიპები

## InGrid



საფენის დაჟანგვა

ანოდის დალექვა და სტრუქტურირება

ნეგატიური ფოტორეზისტის დალექვა და დასხივება

ბადის მასალის (ალუმინი) დალექვა და სტრუქტურირება

ფოტორეზისტის მოცილება

# „მიკრომეგასის“ ტიპები

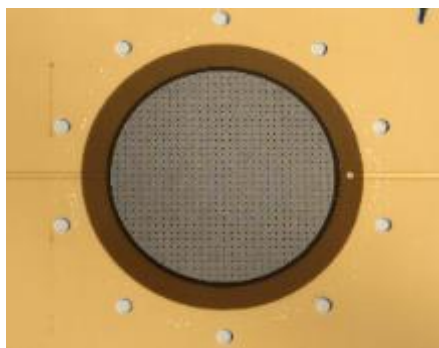
## InGrid

- ✓ ცალმაგი ელექტრონების მაღალი მგრძობიარობა
- ✓ ნაწილაკის ტრეკის აღდგენის მაღალი ეფექტურობა (მაღალი სივრცული და კუთხური გარჩევადობა)
- ✓ ენერჯის მაღალი გარჩევადობა
- ✓ ძალიან მაღალი რადიაციული მედეგობა

**შეთავაზებულია „ატლასის“ კოორდინატული დეტექტორების მოდერნიზაციისათვის სუპერ-დაკ-ზე!**

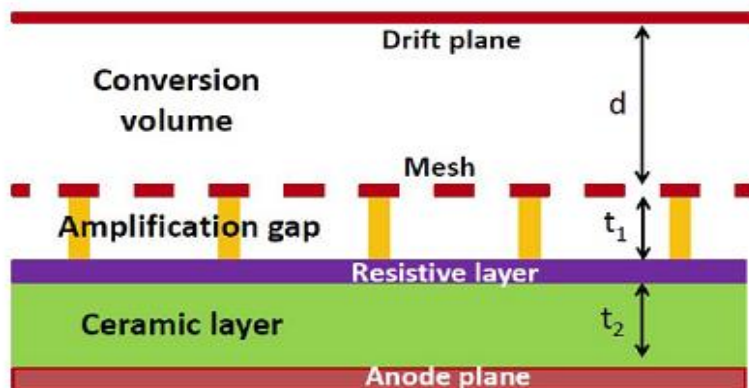
- ✓ სიძვირე
- ✓ სიმყიფე
- ✓ დიდი ფართობის დეტექტორების შექმნის შეუძლებლობა
- ✓ განმუხტვის დამანგრეველი შედეგები (კაჟბადის ნიტრიტის  $\text{Si}_3\text{N}_4$  თხელი ფენა Timepix ASIC-ზე?)

# „მიკრომეგასის“ ტიპები



## Piggyback

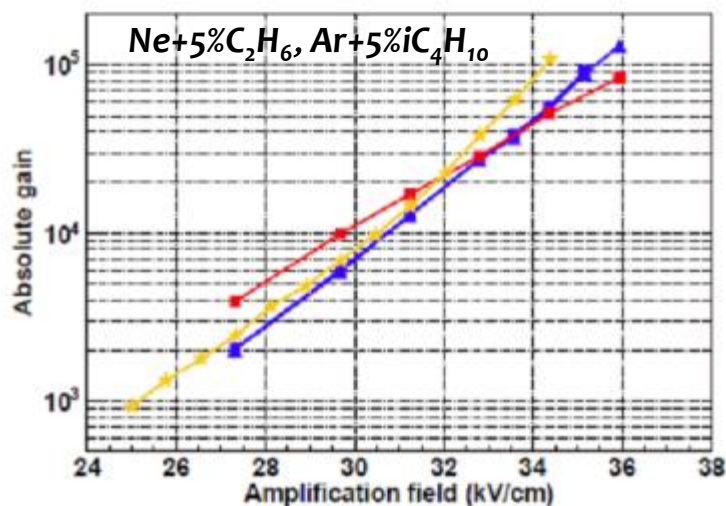
იდეა: მმ-ის მადეტექტორებელი (გაზური მოცულობა) და წამკითხავი ნაწილების ერთმანეთისგან დაცილება ანუ სიგნალის გადაცემა ტევადობითი კავშირით



$$t_2 \ll t_1 \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \rightarrow \text{კერამიკა } (\epsilon \gg 10)$$

### პირველი Piggyback:

300 მკმ სისქის თიხამიწა (ალუმინის ჟანგი), რეზისტული შრე - რუტენიუმის ოქსიდი (RuO<sub>2</sub>)

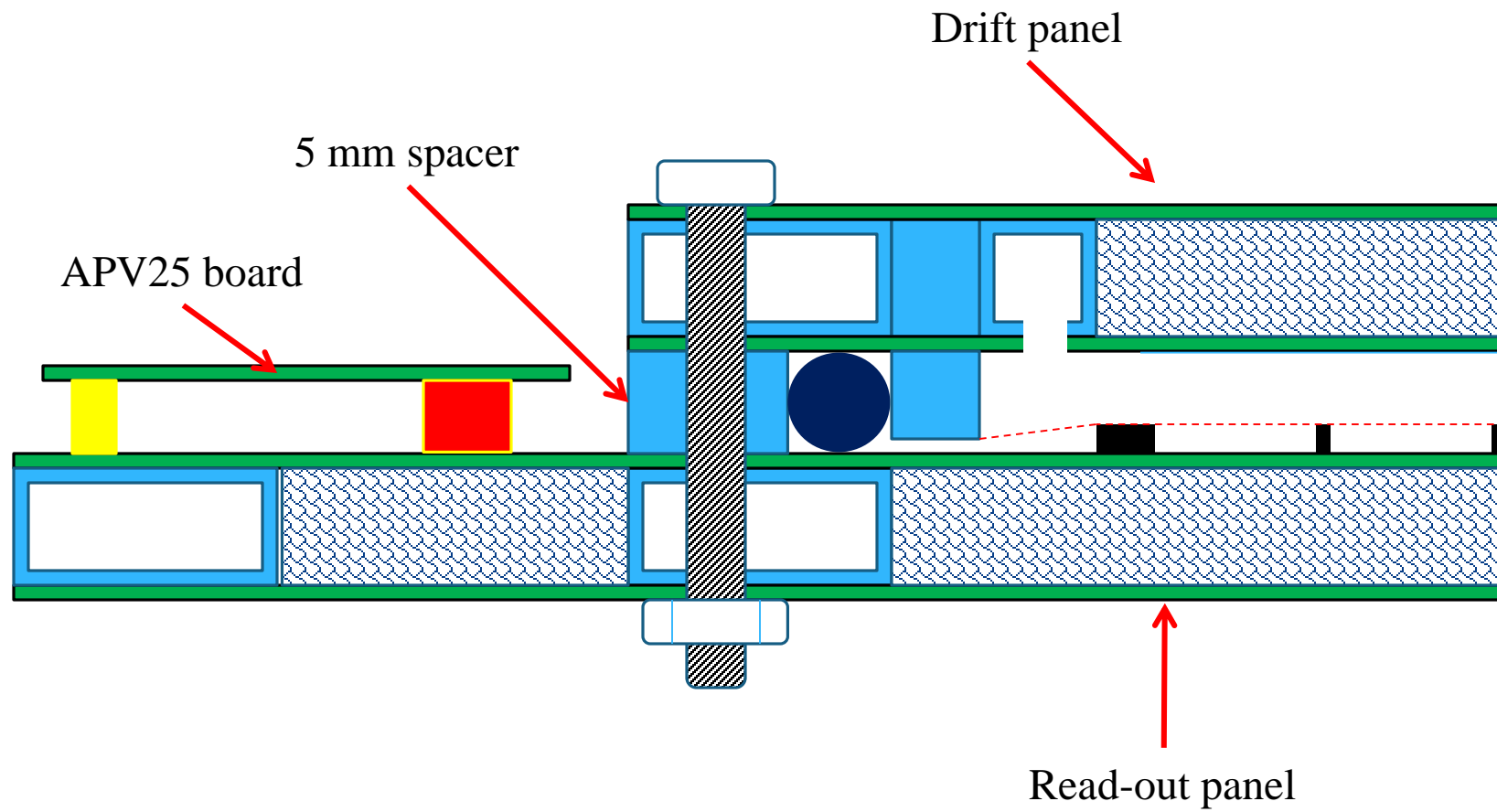


ენერჯის გარჩევადობა 21% FWHM 5,9 კ.ე.ვ. <sup>55</sup>Fe Bulk-თან შედარებით მცირე გაზური გაძლიერება

# „მიკრომეგასის“ ტიპები

## Piggyback

- ✓ დეტექტორის გაზური მოცულობისა და წამკითხავი ნაწილების ერთმანეთისგან დაცილება
  - ✓ ელექტრონიკის გამოცვლის შესაძლებლობა დეტექტორის გამორთვის გარეშე
  - ✓ ელექტრონიკის დაცვა გარღვევისგან
  - ✓ შესანიშნავი დეგაზაციის თვისებები - დეტექტორის ჰერმეტიზაციის შესაძლებლობა
- 
- ✓ სიმყიფე
  - ✓ დიდი ფართობის დეტექტორების შექმნის შეუძლებლობა (!)
  - ✓ ენერჯის შედარებით დაბალი გარჩევადობა
  - ✓ შედარებით დაბალი სივრცული გარჩევადობა





PCB + readout strips

50um Kapton + resistive strips



25um solid Glue



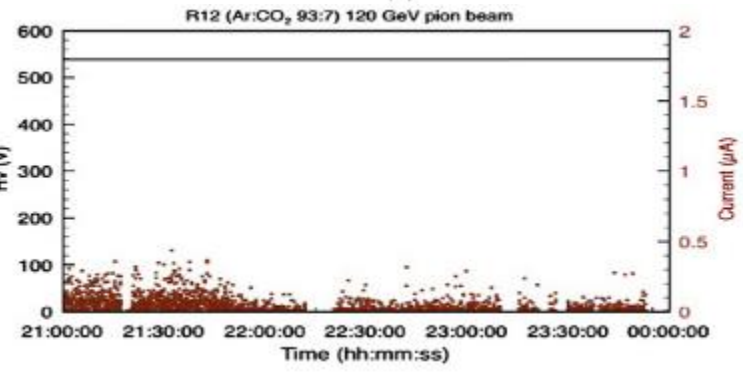
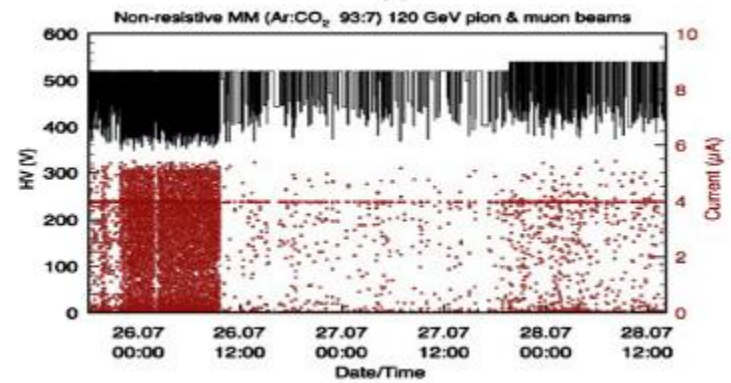
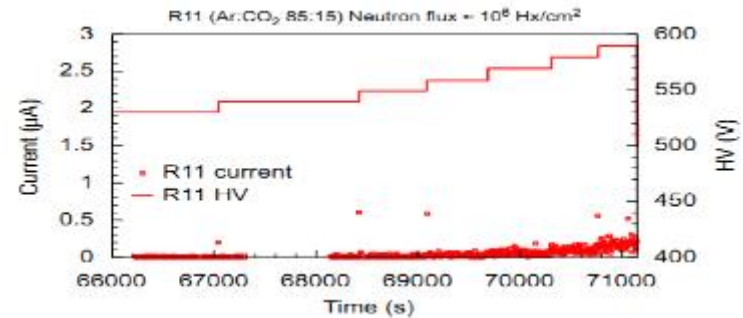
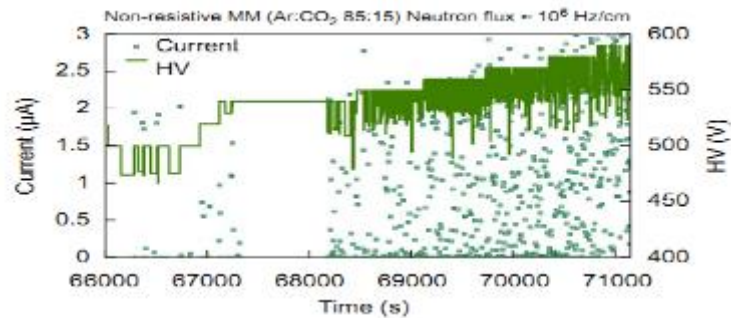
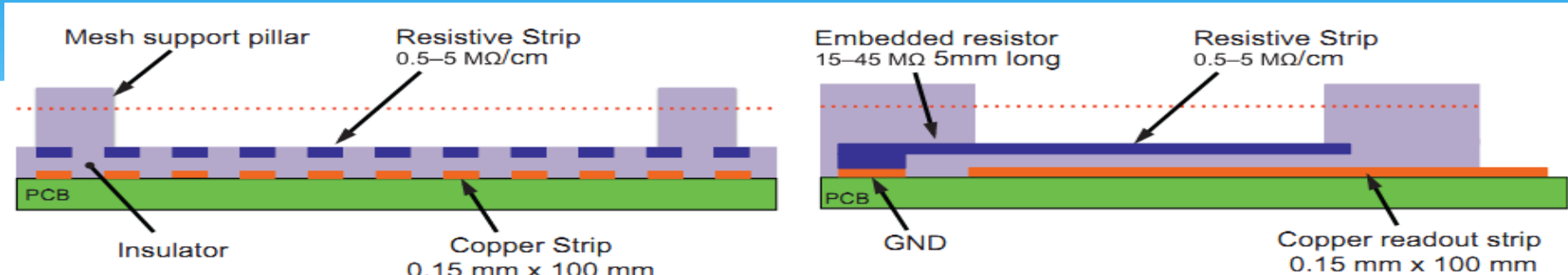
High temp Gluing



Pillars creation

## Resistive strips to reduce spark rate:

Optimal resistance values were in the range of 20-30 MΩ/cm



Current and voltage of standard and resistive MM in the neutron and pion beam

# მიკრომეგასის გამოყენების მაგალითი

## The **FORFIRE** Micromegas detector

Approved by FP7 June 2009

Grant agreement for: Project FP7-SME-2008-1

Project full title: System for highly reliable, cost effective, early detection and accurate localization of incipient forest fires

➔ The objective of the ForFire project is the development of an outdoor fire detection system by using an innovative solar blind camera based on the technology of photosensitive gas and solid state detectors

*F. Druillolle, I. Giomataris, A. Gongadze, A. Peyaud, P. Magnier, J.P. Mols, E. Monmarthe, M. Mur, T. Papaevangelou* - Irfu, CEA Saclay

*in collaboration with*

*A. Angelopoulos, C. Chelmis, V. Costopoulos, I. Kantemiris* - Dept. of Physics, University of Athens, Greece

*F. Quinlan, P. Pavlopoulos* - Heron Technologies, Orleans, France

*A. Abril, M. Chica* - ITAV, Spain



# Systems of Notification

## ➤ Watch towers (medium area)

- ✓ Fast response
- ✓ Less false alarms
- ✗ Reliability (human, visibility...)
- ✗ Human resources
- ✗ Expensive!

## ➤ Satellites (large area)

- ✓ Very large area
- ✗ Resolution
- ✗ Response time
- ✗ Clouds
- ✗ Very expensive!

## ➤ Aircraft patrols (medium area)

- ✓ Fast response
- ✓ Low false alarm rate
- ✗ Expensive!

## ➤ Video surveillance (medium area)

- ✓ Fast response (min)
- ✓ Good resolution (smoke 10x10 m<sup>2</sup> @ 10 km)
- ✗ False alarms
- ✗ Strong winds

## ➤ IR detectors (small area)

- ✓ Fast response
- ✓ Good resolution for small distances
- ✓ Insensitive to fog & dust
- ✗ False alarms
- ✗ Expensive for the area covered

## ➤ *FORFIRE (medium area)*

- ✓ *Very cheap*
- ✓ *Low false alarm rate*
- ✓ *Low power consumption*
- ✗ *Direct vision required*

# What exist out there?

There are commercial UV detectors of flame, but their sensitivity is insufficient for forest fire detection



**EU standard:**

The highest sensitivity Class 1:  $\sim 30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$  flame at  $\sim 20\text{m}$  for 20sec - Hamamatsu UVtron

***Dräger Flame 5000***



***Gasoline Fire surface of  $0.1 \text{ m}^2$  at 44 m***

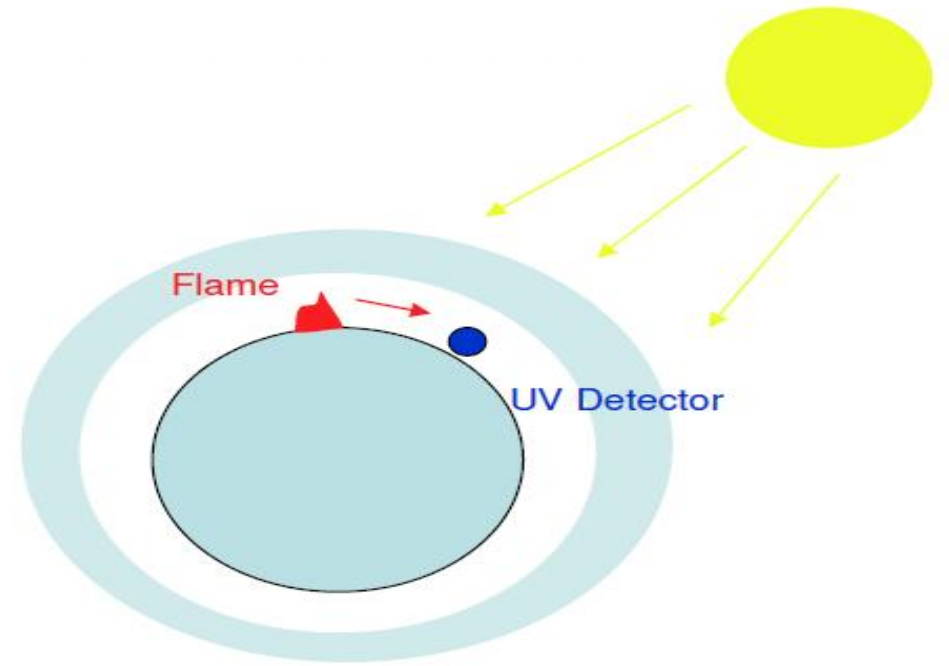
***Simtronics MultiFlame DM-TV6-V Dual UV-IR***



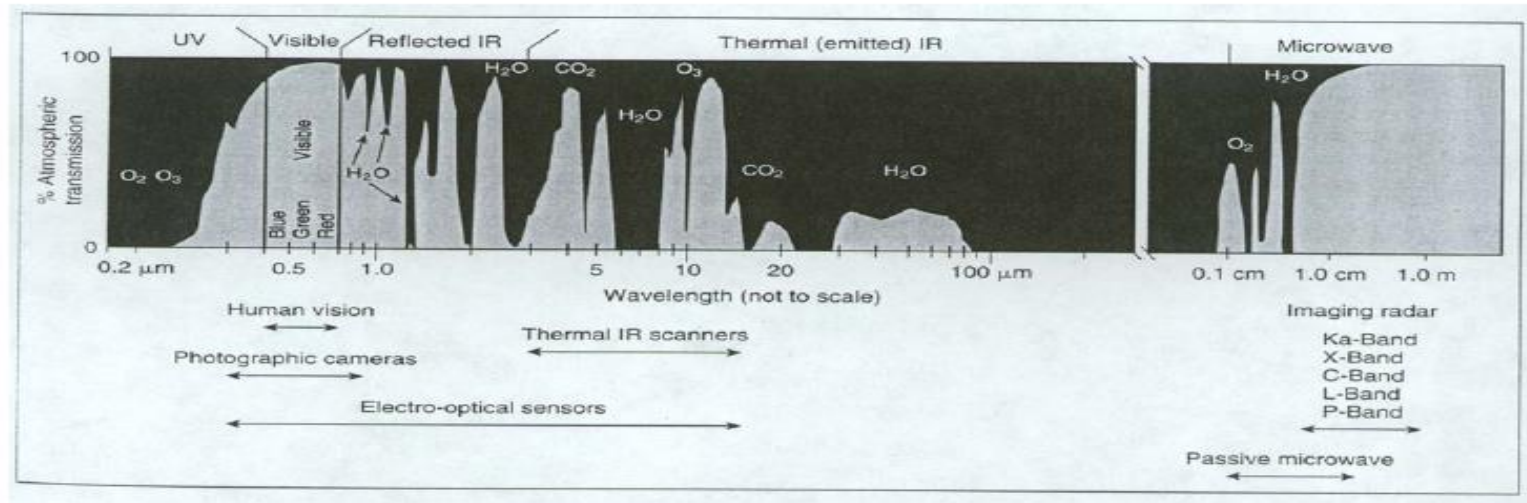
***Range, n-heptane 45m  $0.3 \times 0.3 \text{ m}$***   
***Range, gasoline 27 m  $0.3 \times 0.3 \text{ m}$***



# The basic idea of the UV sensitive detectors of flames



Ozone layer in upper atmosphere blocks the sun radiation in the range 185-260 nm, however on the ground level the atmosphere is transparent in this spectral interval



So a UV detector, sensitive only in the interval 185-260nm is able to detect a UV radiation from the flame, but at the same time is insensitive to the Sun radiation

# A Micromegas for UV is attractive:

- High electron amplification possible ( $10^6$ )
  - Good signal to noise ratio
  - **High sensitivity**, reaching “*single photon detection*” level.
- \* Very low power consumption ( $\ll$  mW)
- \* **Intrinsically “solar-blind”**:  
the Q.E. of solid photocathodes such as CsI is significant for 200-230 nm and drops by 7 orders of magnitude up to 300 nm
- \* Very low production cost
- \* Large scale production possible
- \* Very fast response ( $<1\mu\text{s}$ ).
- \* UV imaging possible

# UV photon detection principle

## Reflective photocathode:

Photosensitive material is deposited on the top surface of the micromesh.

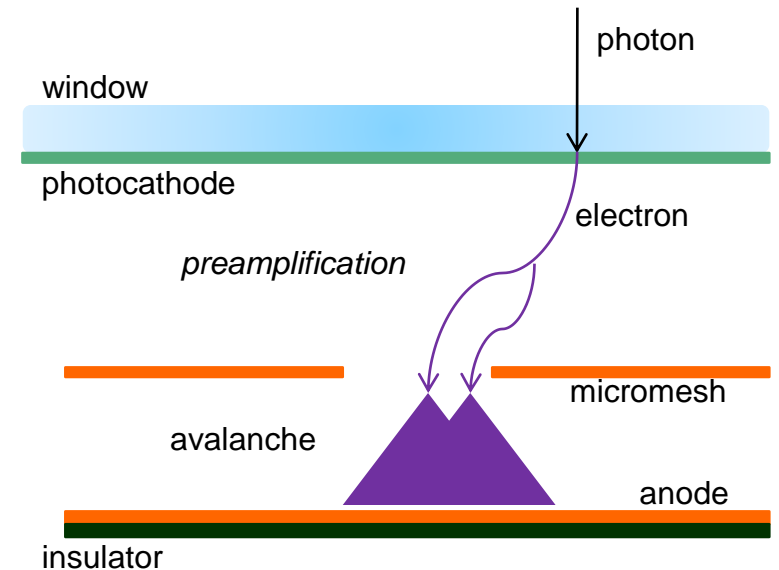
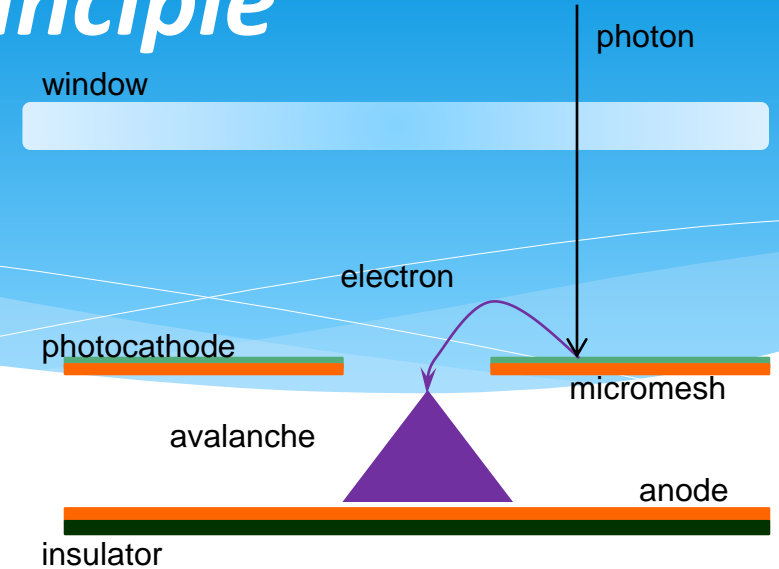
Photoelectrons extracted by photons will follow the field lines to the amplification region

- ✓ The photocathode does not see the avalanche → no ion feedback effect → higher gain (up to  $10^6$ )
- ✓ High electron extraction & collection efficiency

## \* Semi-transparent photocathode:

Photosensitive material is deposited on an aluminized quartz window (drift electrode)

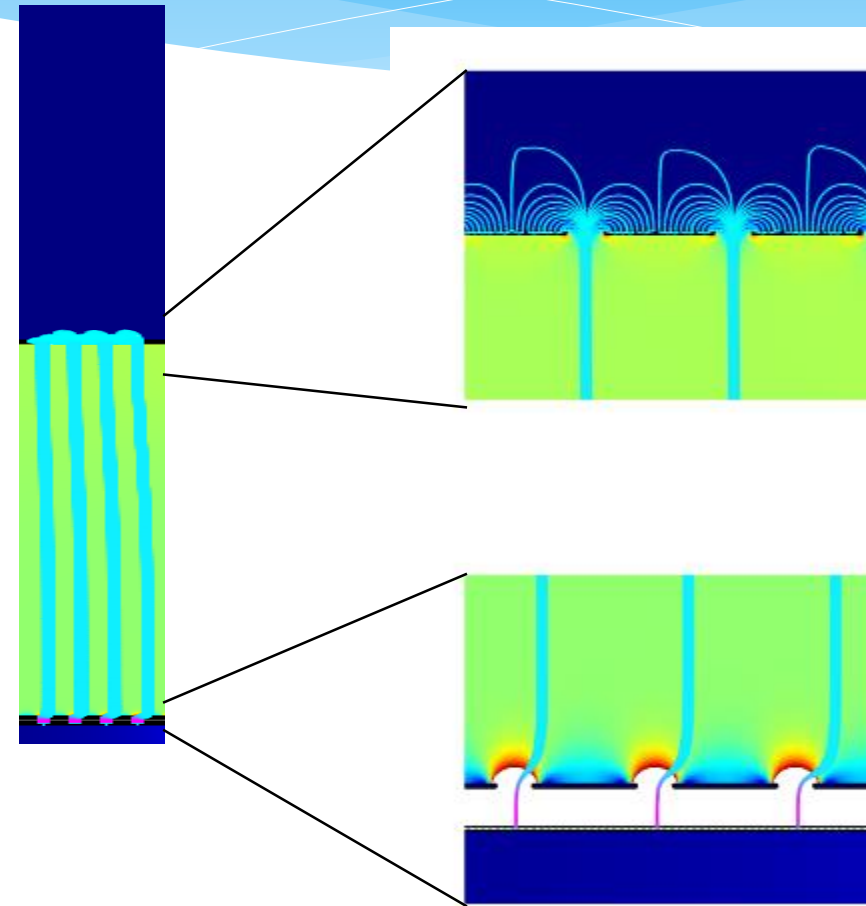
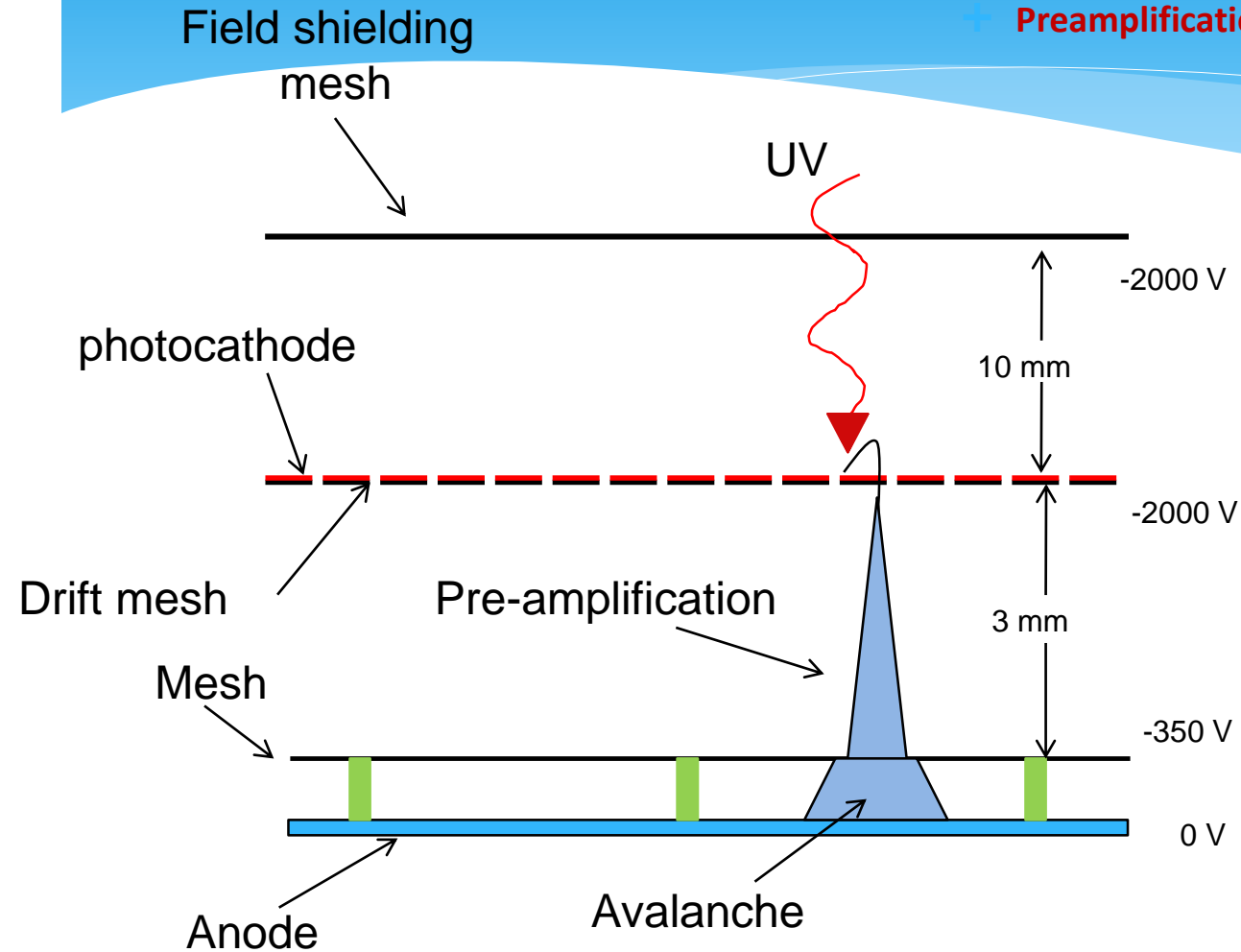
- ✓ Extra preamplification stage → better long-term stability
- × Lower photon extraction efficiency (factor 3)
- × Fragility to sparks
- × Ion feedback → gain limitation



# The FORFIRE Micromegas concept

Our choice:

- Reflective photocathode
- Photocathode separated from detector
- Preamplification



# Advantages of the new concept

*Combining the advantages of the two modes, while suppressing the disadvantages!!!*

- \* *Reflective photocathode*

  - ➔ *High electron extraction efficiency*

- \* *Preamplification*

- \* *No ion feedback*

  - ➔ *Very high total gain ( $\gg 10^7$ )*

  - ➔ *Stability in sealed mode*

  - ➔ *Exceptional signal to noise ratio*

- \* *Photocathode separated from detector*

  - ➔ *Easy fabrication/handling of CsI*

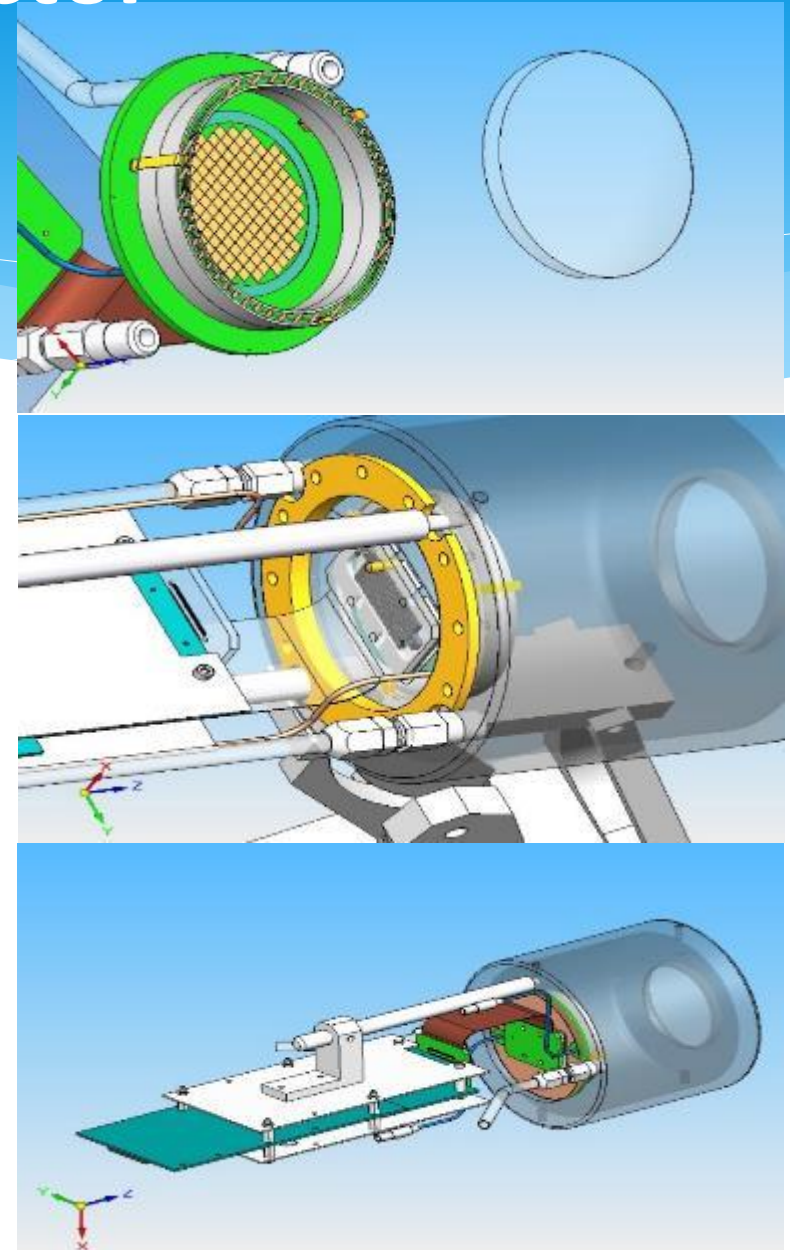


# The FORFIRE detector

- \* **Bulk Micromegas**
- \* **144 pixels**
- \* **Gas: 90% Ne, 10% Ethane**
  - \* **High gain**
  - \* **Good electron extraction efficiency**
- \* **Photocathode = drift electrode**

## This design provides:

- ✓ **Production simplification**
- ✓ **Low cost**
- ✓ **Imaging capabilities**
- ✓ **Sealed operation**
- ✓ **Robustness**
- ✓ **Stability with time**
- ✓ **Very high gain**
  - ➔ **Single photon detection**

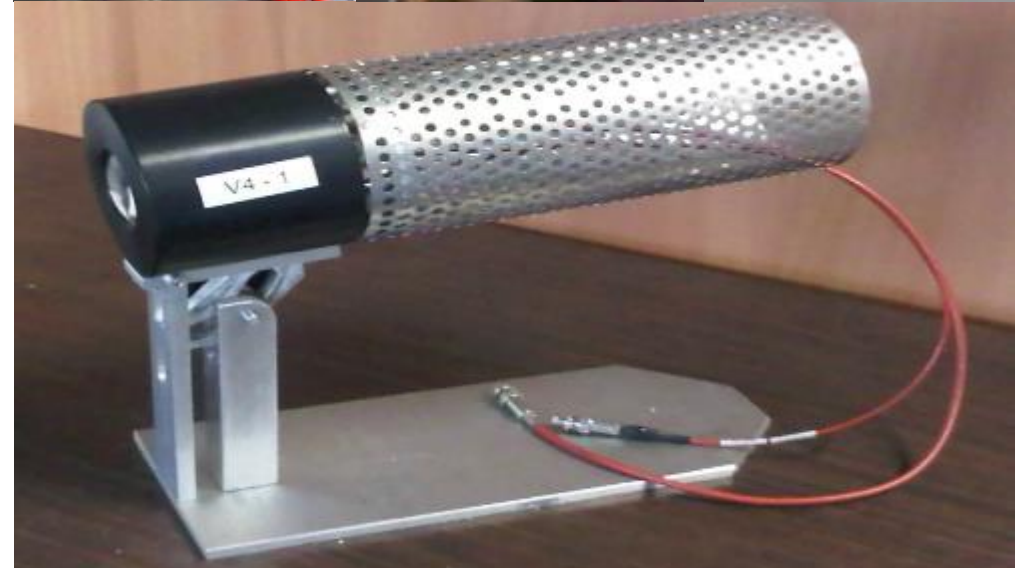
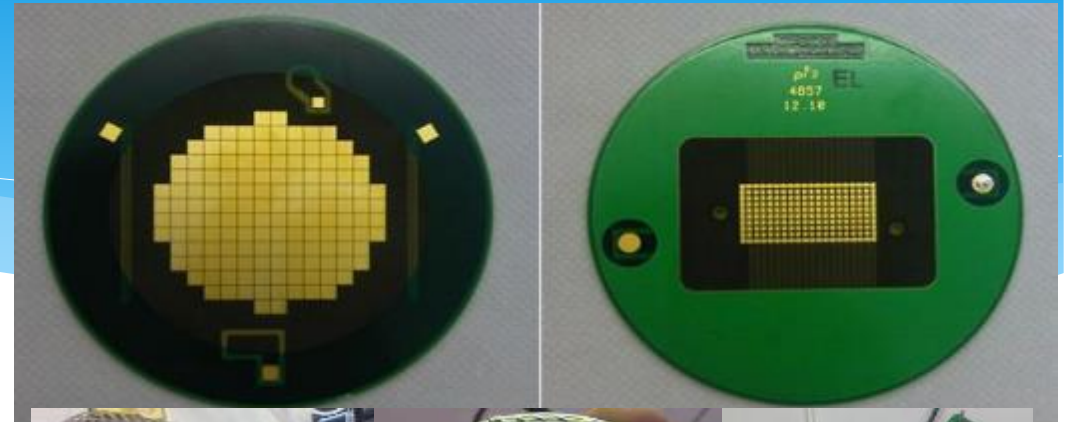


# The FORFIRE detector

- \* **Bulk Micromegas**
- \* **144 pixels**
- \* **Gas: 90% Ne, 10% Ethane**
  - \* **High gain**
  - \* **Good electron extraction efficiency**
- \* **Photocathode = drift electrode**

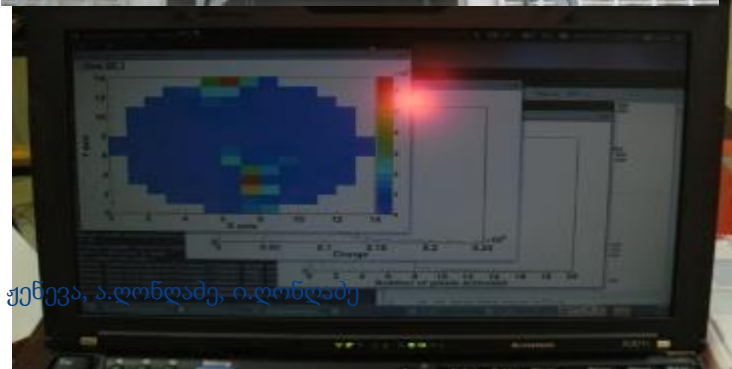
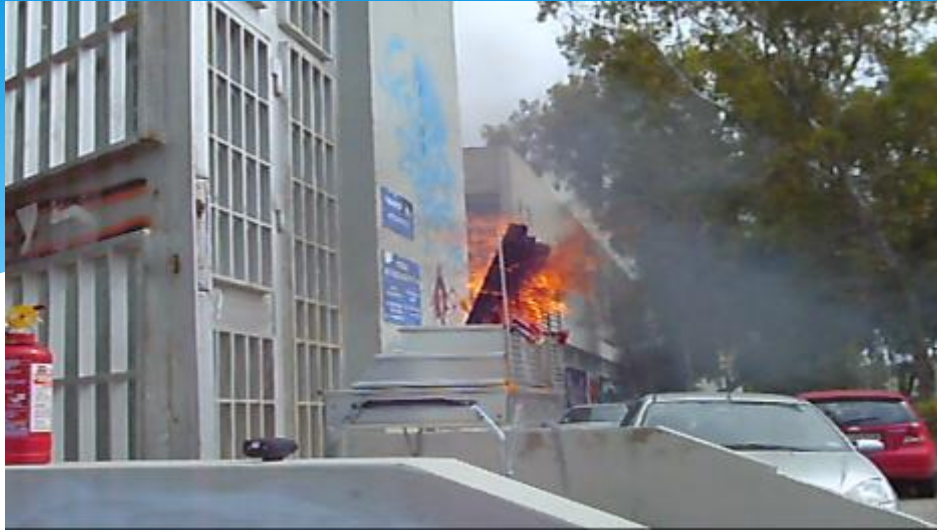
## This design provides:

- ✓ **Production simplification**
- ✓ **Low cost**
- ✓ **Imaging capabilities**
- ✓ **Sealed operation**
- ✓ **Robustness**
- ✓ **Stability with time**
- ✓ **Very high gain**
  - ➔ **Single photon detection**

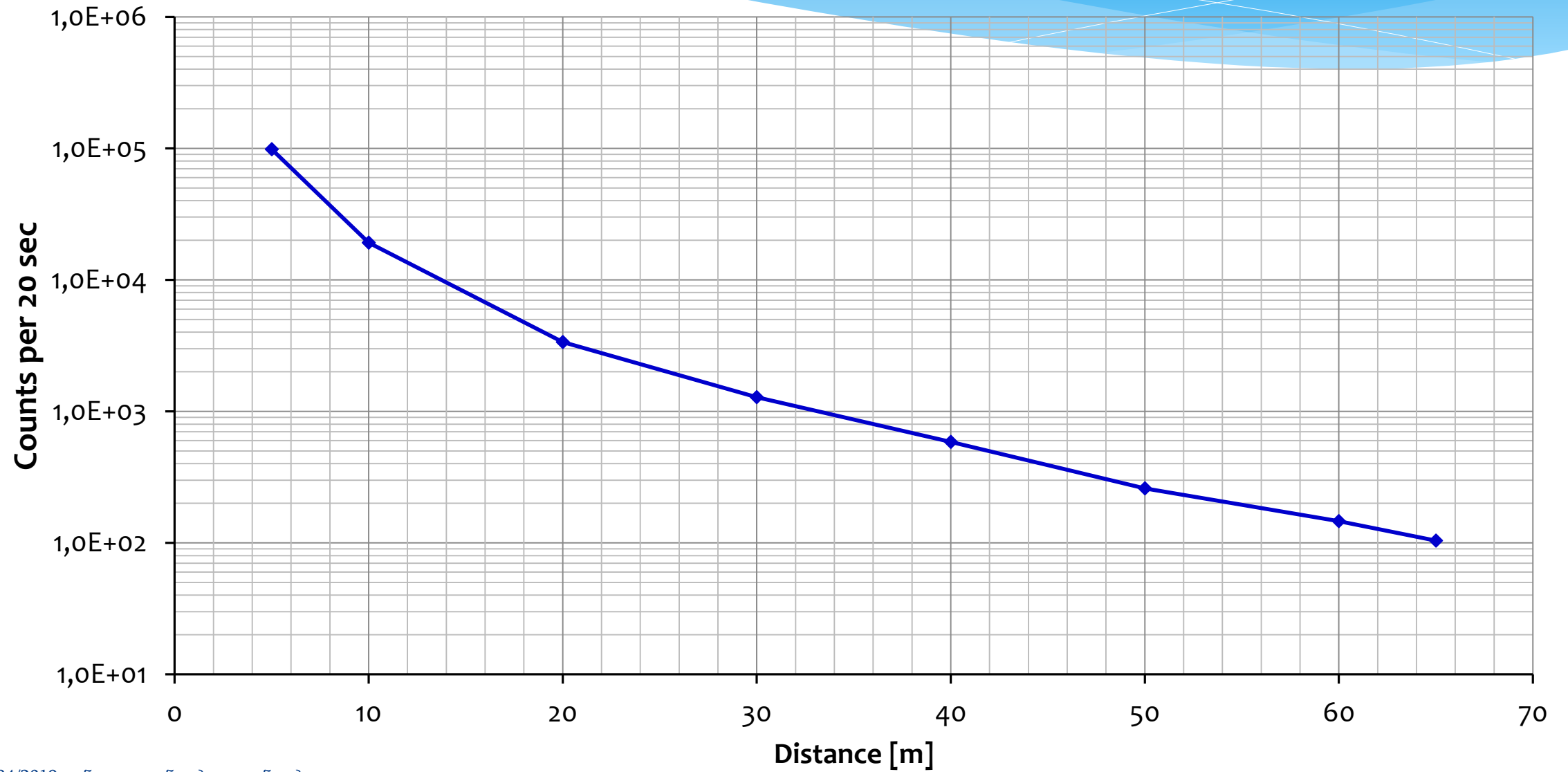




# Laboratory fire tests at Athens University



# Indoor sensitivity on a candle flame



# Long range measurements

*Outdoor measurements using a deuterium lamp and the 193, 200, 214 nm UV filters*

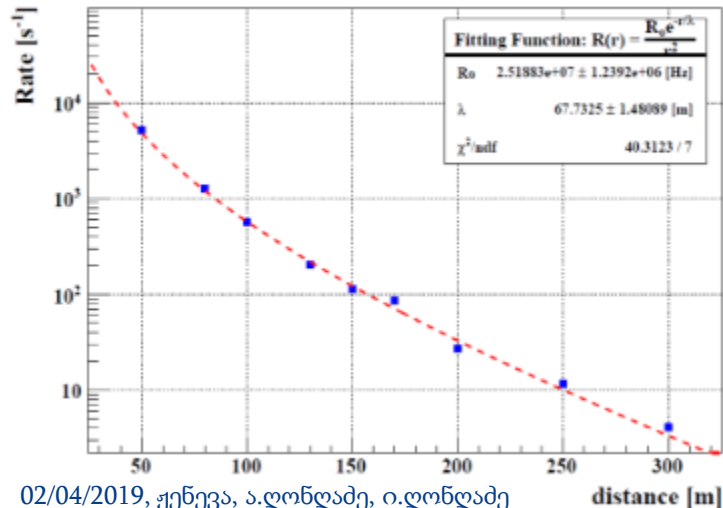
*These filters cover the region of interest for fire detection, from where most of the signal is expected.*

- *Smaller wavelengths are strongly absorbed by the atmosphere*
- *For larger wavelengths the QE drops rapidly.*

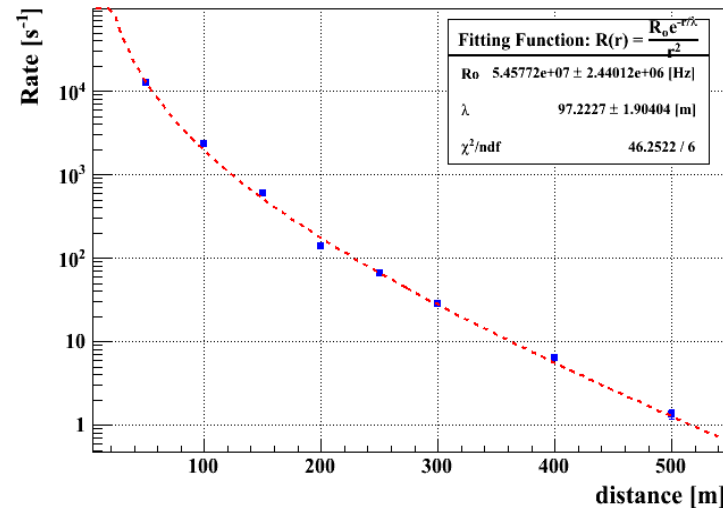
*The absorption length of the atmosphere has been derived to be between 100 to 150 m in that region.*



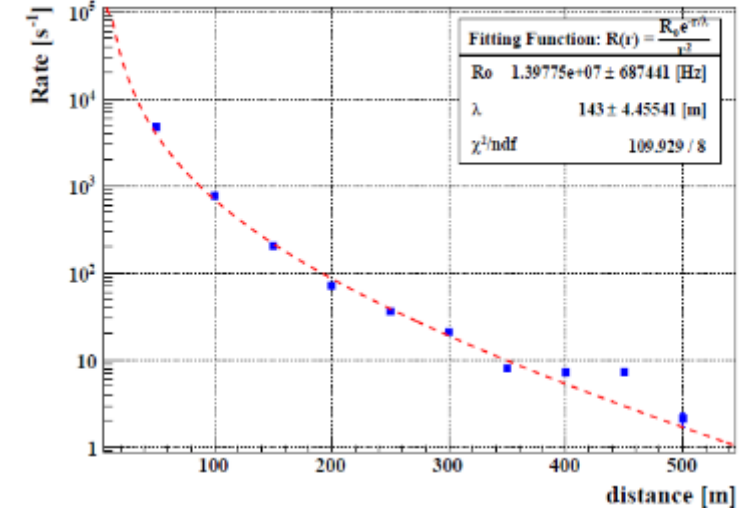
193 nm filter



200 nm filter

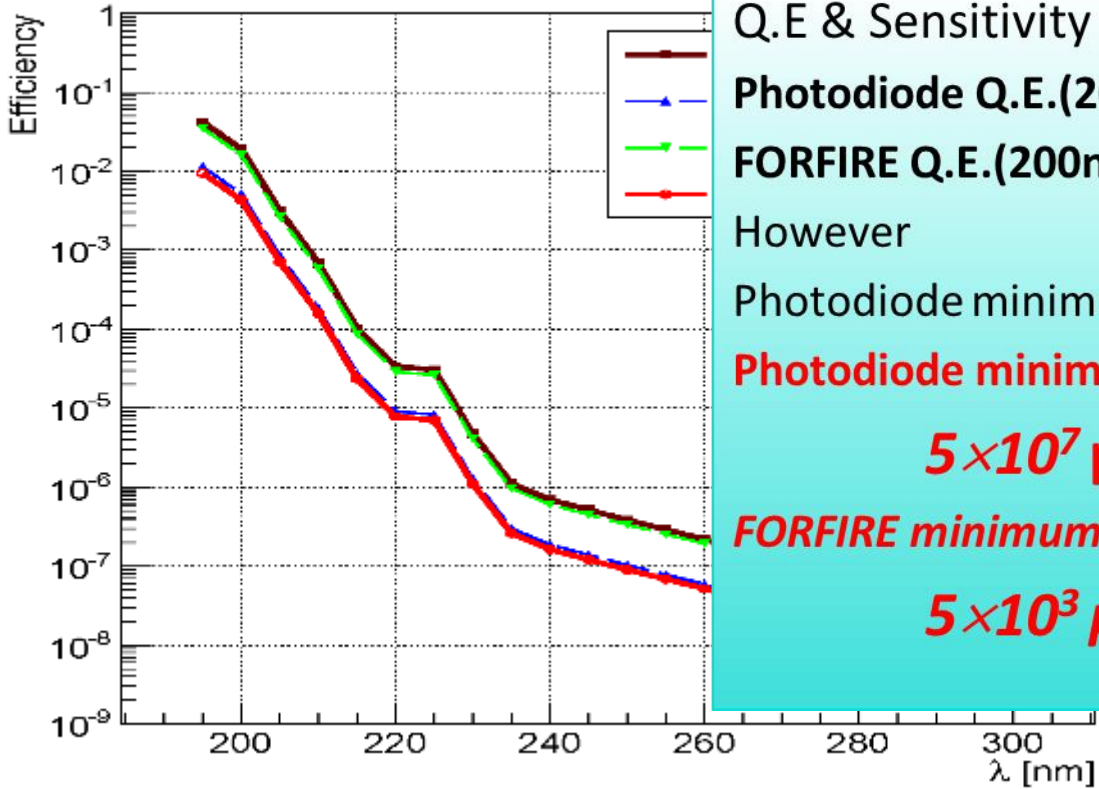


214 nm filter





## Q. E



## Q.E & Sensitivity

Photodiode Q.E.(200nm)≈70%

FORFIRE Q.E.(200nm)≈0.1%

However

Photodiode minimum signal ≈ 5 pA →

Photodiode minimum sensitivity ≈

$5 \times 10^7$  photons

FORFIRE minimum sensitivity ≈

$5 \times 10^3$  photons

## Ageing measurements

