

50 V Operation Effect of Beam Test 2021

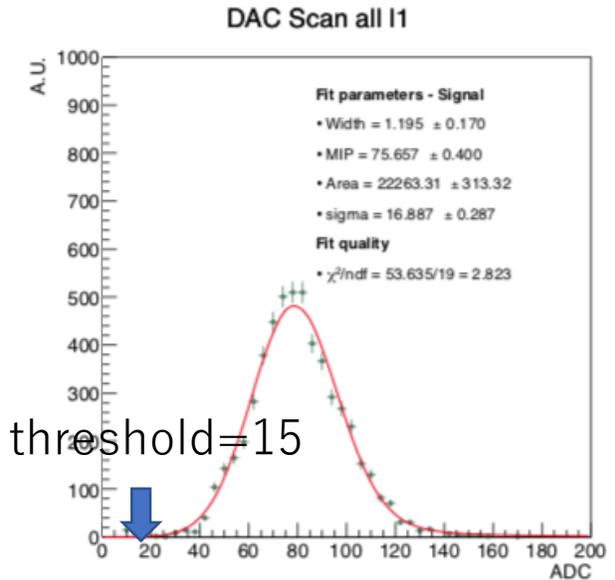
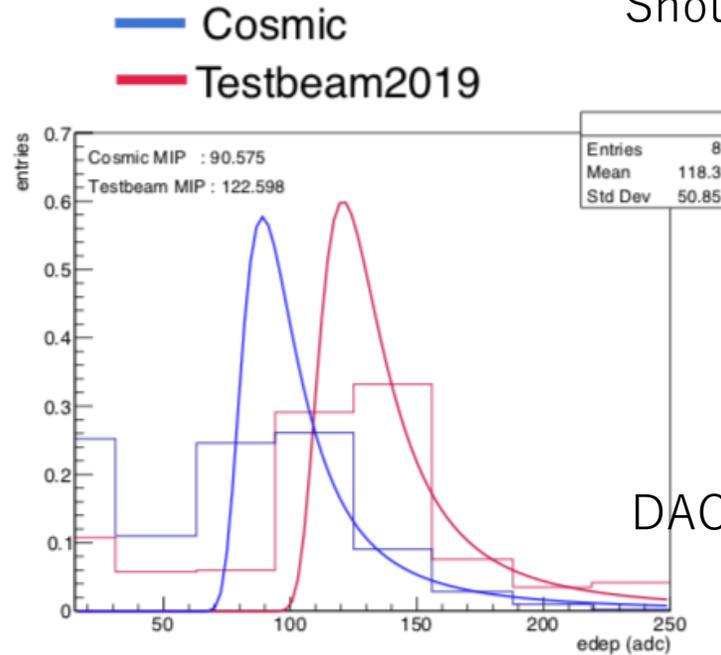
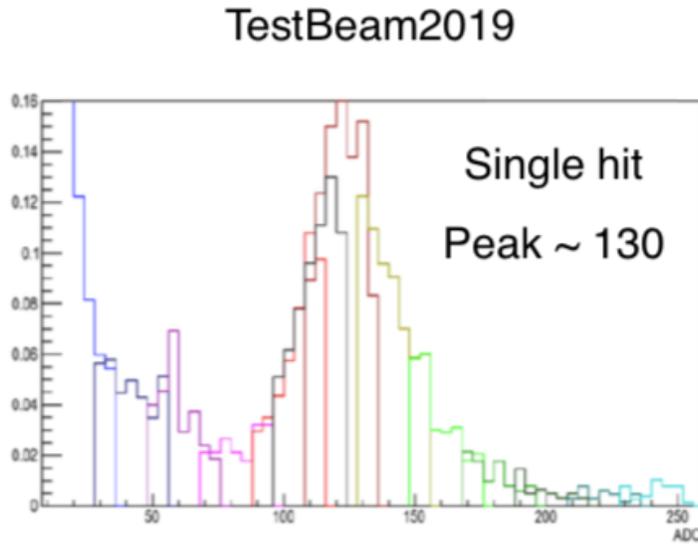
RIKEN/RBRC
Itaru Nakagawa

Threshold Effect

MIP = 75.667 [ch]
 Sigma = 16.9 [ch]
 DAC0 Threshold=15 [ch]
 MIP-DAC0 ~ 75 - 15 = 60 [ch]
 (MIP-DAC0)/Sigma = 60/16.9 ~ 3.5 sigma
 Should accommodate > 99.999% MIP
 (99.9895% by Cheng-Wei)

2022/1/20 INTT Meeting
Cheng-Wei's Report

Should be OK for efficiency evaluation



Bias Voltage=100V

Amplitude Drop by 100V -> 50V

$$\frac{MPV_{50V}}{MPV_{100V}} = \frac{75.7}{122.6} \sim 0.62$$

Cosmic MPV : 90.58
 Testbeam : 122. 598

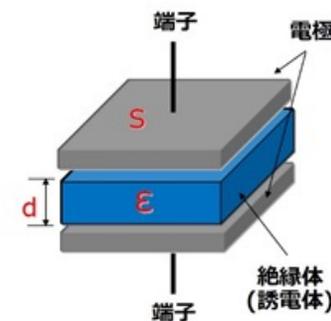
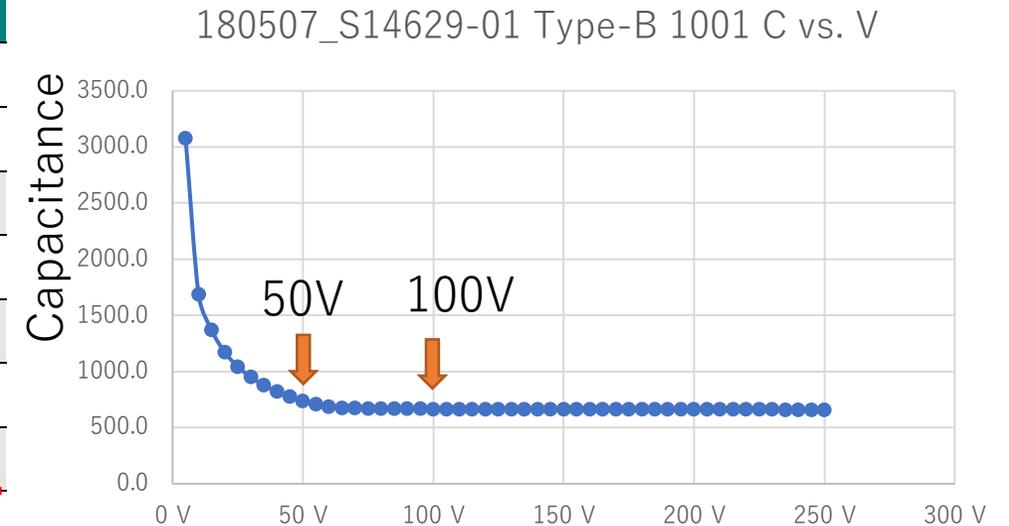
Bias voltage : 50V
 MPV : 75.7

Full Depletion Voltage

■電気的光学的特性 (Ta = +25° C)

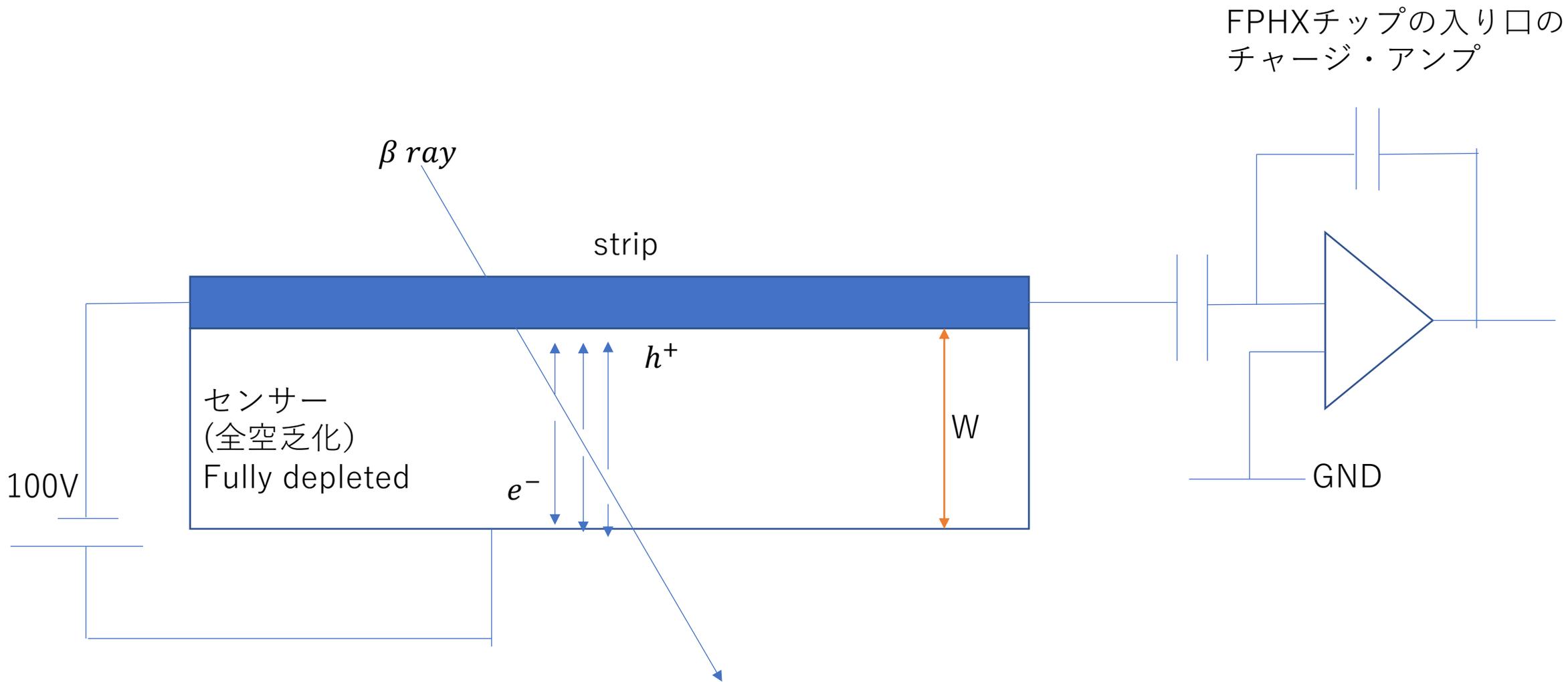
項目	条件	Min.	Typ.	Max.	単位
シリコン厚		305	320	335	μm
ストライプ数		—	128 × 20	—	ch
ストライプピッチ		—	78	—	μm
ストライプインプラント幅		—	10	—	μm
ストライプ読出しアルミ幅			20		μm
チップサイズ		122000 ± 40 × 22500 ± 40			μm
全空乏化電圧		—	—	120	V
暗電流	Vr=Vfd	—	—	400	nA
ポリシリコン抵抗値		5	—	15	MΩ
アルミ電極抵抗		—	—	50	Ω
ストリップ不良率		—	—	2	%

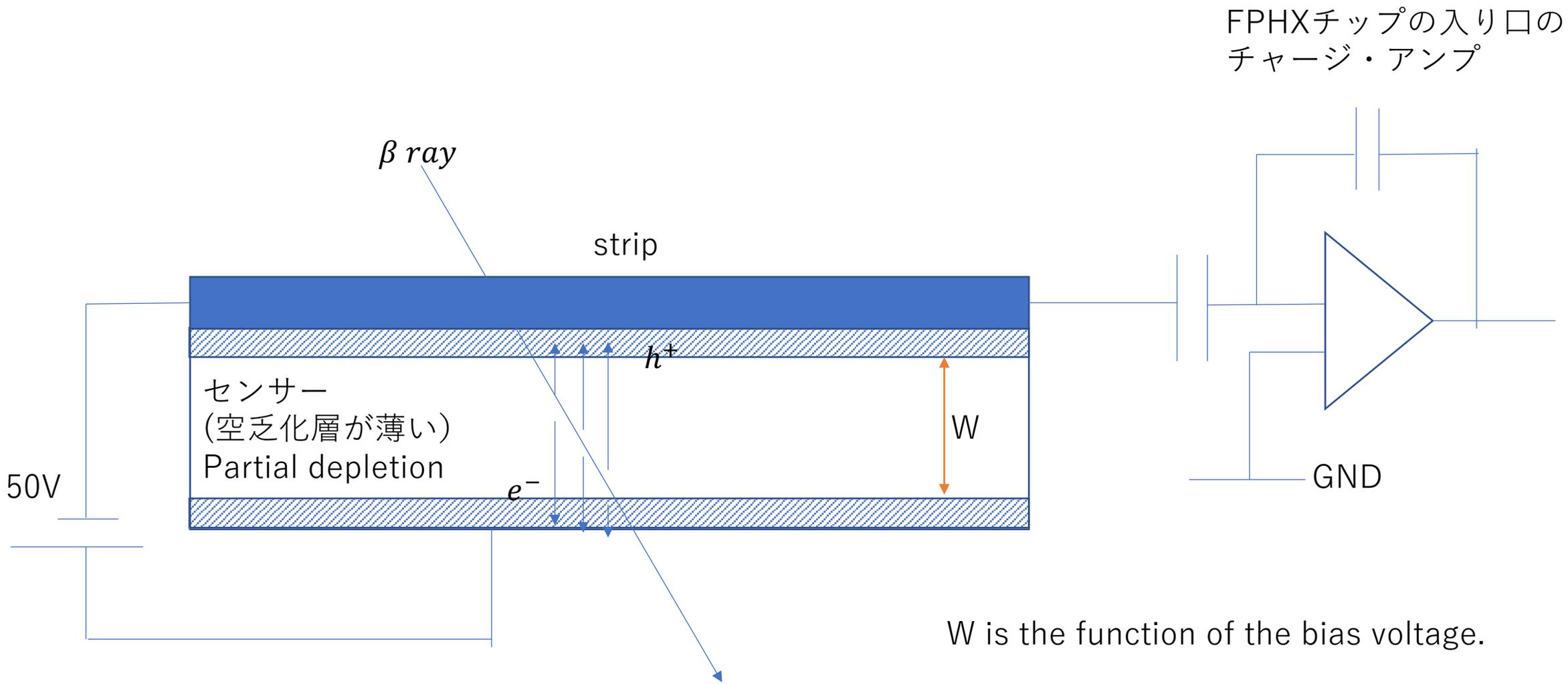
Fully depletion voltage is 120V in Hamamatsu's Catalogue, but we've decided to operate at 100V in Fermi's test experiment. We may need to revisit the optimized voltage.



$$C = \epsilon \times \frac{S}{d}$$

- C : 静電容量
- ε : 絶縁体の誘電率
- S : 電極 表面積
- d : 絶縁体の厚さ





Expected Amplitude

$$W = \sqrt{2\rho\epsilon\mu_e(V_{bias} - \varphi_{bi})}$$

- Expected Ratio

$$\frac{W_{50V}}{W_{100V}} = \frac{\sqrt{2\rho\epsilon\mu_e(50 - \varphi_{bi})}}{\sqrt{2\rho\epsilon\mu_e(100 - \varphi_{bi})}} \sim \frac{\sqrt{50}}{\sqrt{100}} \sim \frac{7.07}{10} \sim 0.7$$

- Observed Ratio

$$\frac{MIP_{50V}}{MIP_{100V}} = \frac{75.7}{122.6} \sim 0.62$$



0.7 vs 0.62 : Reasonably consistent with the observation

34.7.2 Detector Configurations

A $p-n$ junction operated at reverse bias forms a sensitive region depleted of mobile charge and sets up an electric field that sweeps charge liberated by radiation to the electrodes. Detectors typically use an asymmetric structure, *e.g.*, a highly doped p electrode and a lightly doped n region, so that the depletion region extends predominantly into the lightly doped volume.

In a planar device the thickness of the depleted region is

$$W = \sqrt{2\epsilon(V + V_{bi})/Ne} = \sqrt{2\rho\mu\epsilon(V + V_{bi})} \quad (34.20)$$

where V = external bias voltage

V_{bi} = “built-in” voltage (≈ 0.5 V for resistivities typically used in Si detectors)

N = doping concentration

e = electronic charge

ϵ = dielectric constant = $11.9 \epsilon_0 \approx 1$ pF/cm in Si

ρ = resistivity (typically 1–10 k Ω cm in Si)

μ = charge carrier mobility

= 1350 cm² V⁻¹ s⁻¹ for electrons in Si

= 450 cm² V⁻¹ s⁻¹ for holes in Si

In Si

$W = 0.5[\mu\text{m}\sqrt{\Omega\text{-cm} \cdot V}] \times \sqrt{\rho(V + V_{bi})}$ for n -type Si, and

$W = 0.3[\mu\text{m}\sqrt{\Omega\text{-cm} \cdot V}] \times \sqrt{\rho(V + V_{bi})}$ for p -type Si.

The conductive p and n regions together with the depleted volume form a capacitor with the capacitance per unit area

$$C = \epsilon/W \approx 1 \text{ [pF/cm]} / W \text{ in Si.} \quad (34.21)$$

In strip and pixel detectors the capacitance is dominated by the fringing capacitance to neighboring electrodes. For example, the strip-to-strip Si fringing capacitance is ~ 1 – 1.5 pF cm⁻¹ of strip length at a strip pitch of 25–50 μm .

6th December, 2019 11:49am

<https://pdg.lbl.gov/2019/reviews/rpp2019-rev-particle-detectors-accel.pdf>

2009年6月1-3日

2009年6月1-3日 総研大実習 テーマA6

シリコンセンサーの基礎

2009年6月1日 KEK 坪山 透

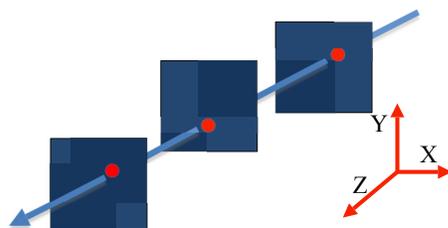
はじめに

シリコンセンサーは現在および将来の素粒子実験で最も重要な役割を果たす。写真は「シリコンストリップセンサー」と呼ばれ、300 μm 厚のシリコン板に50 μm おきに細長い電極を取り付け、素粒子がそのセンサーを通り抜けたときに発生するごく



1cm x 8 cm x 0.3 mm のシリコンストリップセンサー

少ない電荷を集めて、粒子の通過位置を測定する。シリコンセンサーの両面に電極を設けることで、2次元情報 XY の測定が可能になる。典型的なシリコンセンサーでは、面内の通過位置を表・裏それぞれ 10 μm 程度の精度で測定することができる。さらに、センサーの置く位置 Z を精度よく決めることで、素粒子通過位置の XYZ の情報を得ることができる。2枚以上のセンサーを集めれば、粒子の軌道の測定が可能になる。磁場中を走る荷電粒子はらせん運動をする。3枚以上のセンサーを用いて、運動の曲率半径を測ることで、粒子の進む方向と運動量の



シリコンの不純物濃度が非常に高い場合を考える。結晶内部の電荷分布を決めたので、電荷分布 $\rho(x)$ とポテンシャル $\phi(x)$ の関係を示す一次元ポワソン方程式を解けばシリコン内の電位が決まる。

$$d^2\phi/dx^2 = -\rho(x)/\epsilon$$

総研大実習 A6 シリコンセンサーの基礎

(坪山 透)

4 ページ

この式を1回積分して電場を求める。境界条件は空乏領域の外側 ($x < -x_p$ と $x > x_n$) で $d\phi(x)/dx = 0$ である。

$$\begin{aligned} d\phi(x)/dx &= 0 & (x < -x_p) \\ d\phi(x)/dx &= -x(-eN_p)/\epsilon + E_{\text{max}} & (-x_p < x < 0) \\ d\phi(x)/dx &= -x(eN_n)/\epsilon + E_{\text{max}} & (0 < x < x_n) \\ d\phi(x)/dx &= 0 & (x_n < x) \end{aligned}$$

となる。 $E_{\text{max}} = e x_p N_p / \epsilon = e x_n N_n / \epsilon \approx e d N_n / \epsilon$ となる。

さらにこの式を積分すると、ポテンシャル $\phi(x)$ が求まる。

$$\begin{aligned} \phi(x) &= 0 & (x < -x_p) \\ \phi(x) &= -(1/2)x^2(-eN_p)/\epsilon + x E_{\text{max}} + V_1 & (-x_p < x < 0) \\ \phi(x) &= -(1/2)x^2(eN_n)/\epsilon + x E_{\text{max}} + V_1 & (0 < x < x_n) \\ \phi(x) &= V_2 & (x_n < x) \end{aligned}$$

これを解くと、

$$\begin{aligned} V_1 &= 1/2 x_p^2 e N_p / \epsilon \\ V_2 &= 1/2 x_p^2 e N_p / \epsilon + 1/2 x_n^2 e N_n / \epsilon = 1/2 x_n^2 e N_n / \epsilon (1 + N_p x_p^2 / N_n x_n^2) \\ &= 1/2 x_n^2 e N_n / \epsilon (1 + x_p / x_n) \approx d^2 e N_n / 2\epsilon \end{aligned}$$

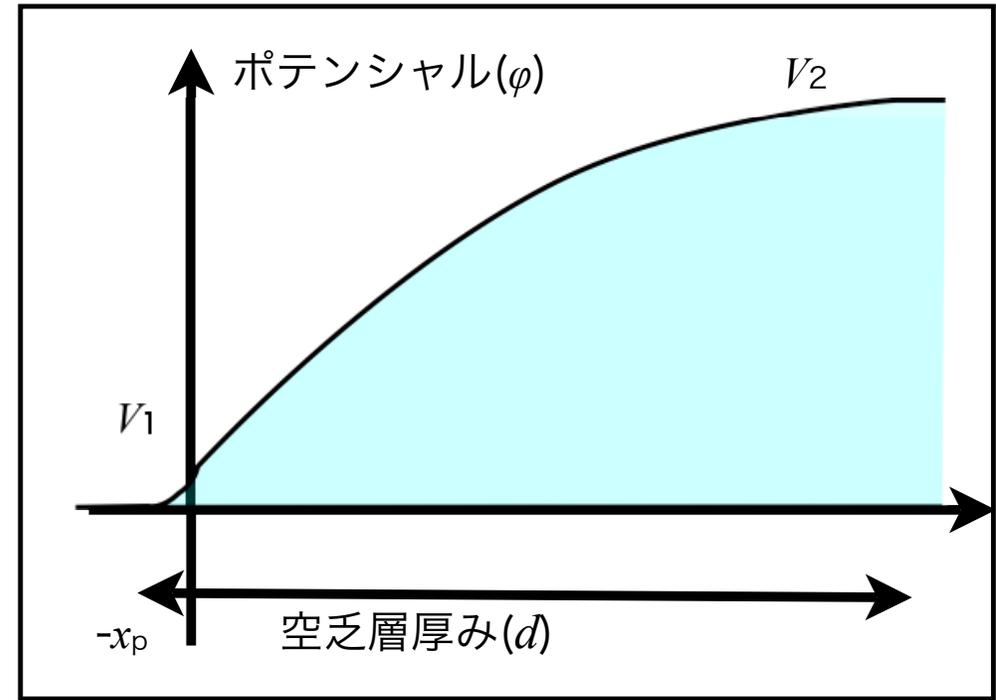
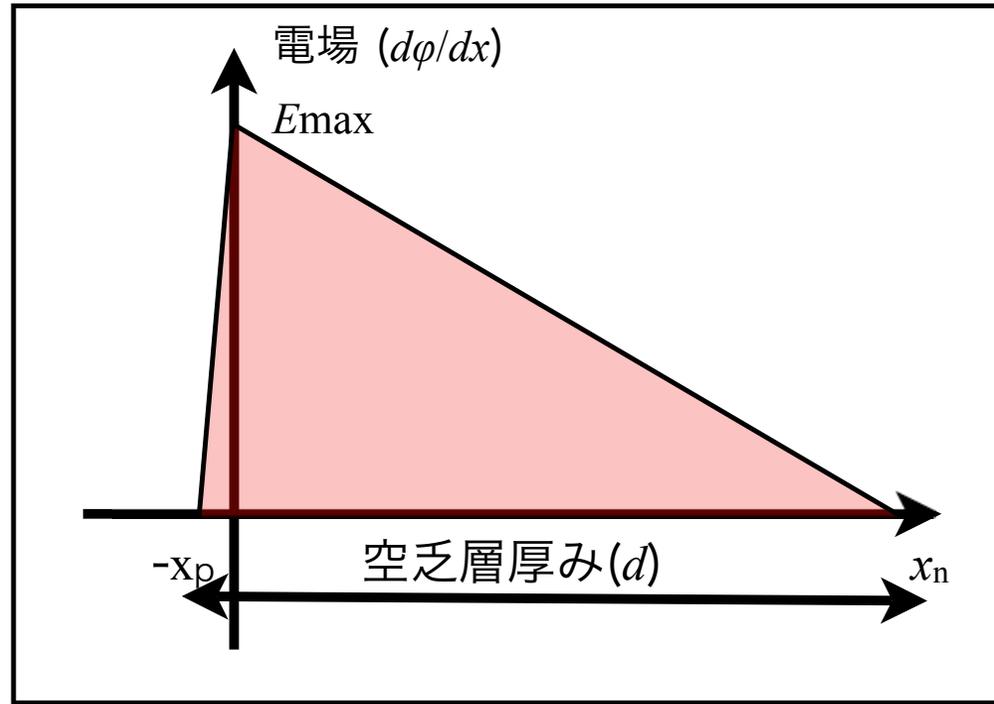
となる。 V_2 は内部電圧 ϕ_{bi} と外部から加えるバイアス電圧 V_b の和である。空乏層の厚み d は、バイアス電圧の平方根に比例する。

$$V_1 = 1/2 x_p^2 e N_p / \epsilon$$

$$V_2 = 1/2 x_p^2 e N_p / \epsilon + 1/2 x_n^2 e N_n / \epsilon = 1/2 x_n^2 e N_n / \epsilon (1 + N_p x_p^2 / N_n x_n^2)$$

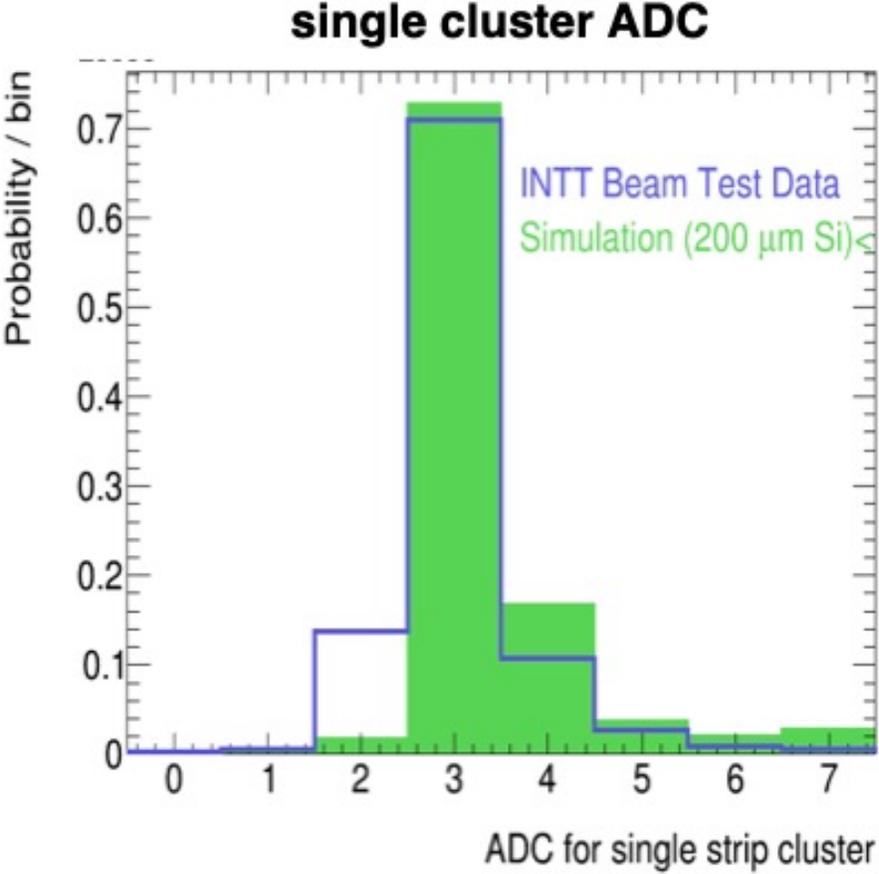
$$= 1/2 x_n^2 e N_n / \epsilon (1 + x_p / x_n) \approx d^2 e N_n / 2 \epsilon$$

となる。 V_2 は内部電圧 ϕ_{bi} と外部から加えるバイアス電圧 V_b の和である。空乏層の厚み d は、バイアス電圧の平方根に比例する。

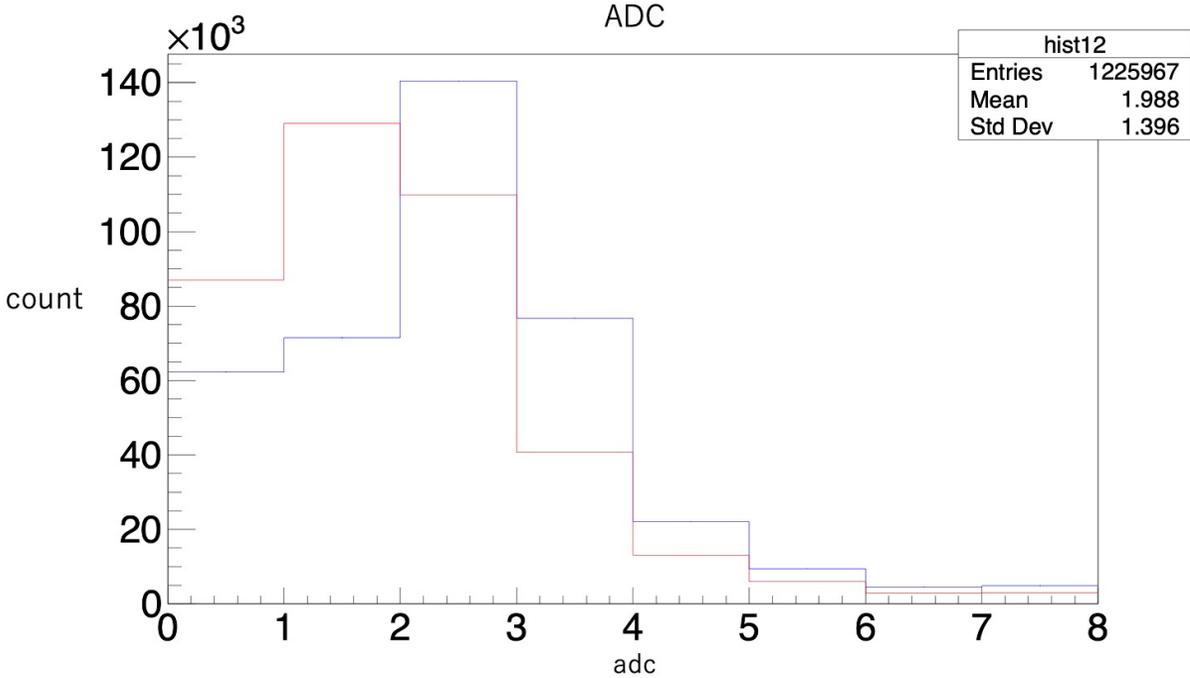


Beam Test ADC Distributions

Presumably, the peak positions will agree if we scale simulation ADC by 0.7 or so.



2018 Beam Test



2021 Beam Test

INTT Silicon Sensor Cross Section

[図3-7] 片面SSD

