

## EASIROC module を用いた MPPC 校正測定

### 概要

浜松ホトニクス株式会社が開発した MPPC は多くの分野に応用できる光デバイスの一つである。我々は MPPC をたくさん使った研究を推進していく上で、MPPC 個々の性能を調べる必要がある。EASIROC モジュールはオーム社が開発した EASIROC チップを 2 個内蔵した最大 64 個の MPPC の電圧供給と ADC 読み出しを可能にする。LED 光源を使用して MPPC の供給電圧における増倍率、そしてノイズ比を個々に測定し校正する。今回 50 個の MPPC (型番:S12572-100P) の校正を行った。

### 1. EASIROC モジュールを用いた MPPC の応答

MPPC の信号はフラットケーブルを介してモジュール内に送信される。モジュール内では一旦 Fast Shaper で整形された後、Slow Shaper で整形される。図1(a)の波形はモジュールの Analog Output 信号で、Slow Shaper で整形された後の波形である。EASIROC モジュールはピークホールド型 ADC を採用しており、A/D 変換係数は 0.2 mV/ADC である。ペDESTAL は約 800ADC に集中している。EASIROC モジュールには Pre Amp と Slow Shaper が内蔵されており、ユーザはそれらのパラメータを設定することができる。初期設定では Pre Amp 増幅率は 75 倍、Slow Shaper 時定数は 50 ns に設定されており、増幅率を上げると波高は高くなり、時定数を上げると波幅が広がり波高は低くなる傾向を持つ。本測定では、増幅率 150 倍、時定数 50 ns で校正測定を行った。

LED 光源は Function Generator のパルス波で発光させる。LED 光源の波長は 470 nm で、パルス波は 1 kHz で発光させた。MPPC に光源が当たる位置にセットさせ、電圧値と光源の光量をそれぞれ変えながら測定した。図1(b)に示すように離散的なピークが観測され、発光量を変えると、ピークの位置は変化せず、それらの割合が変化するはずである。これから MPPC 増幅率の系統誤差を評価する。

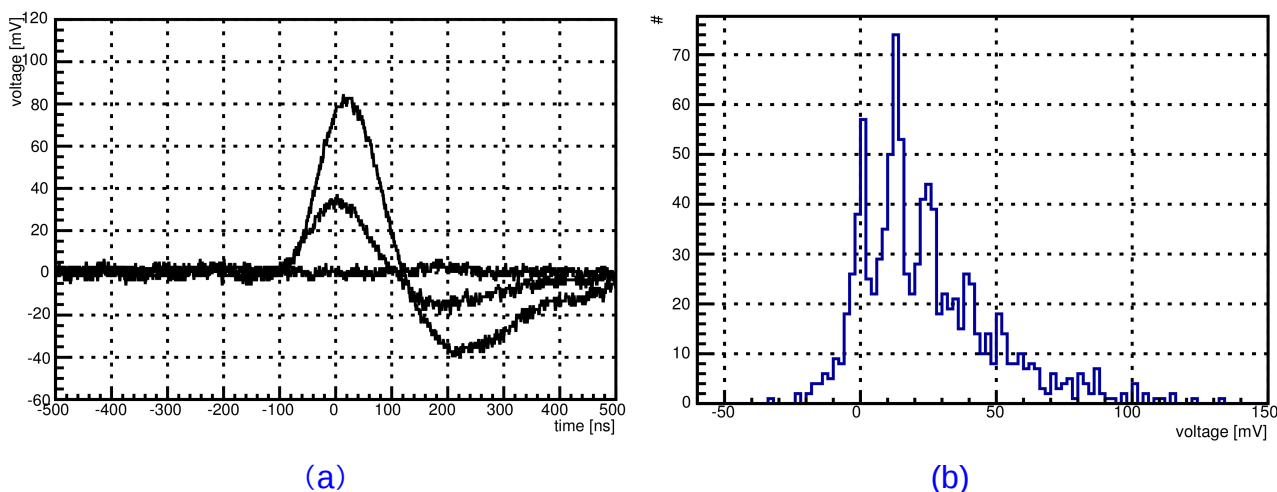


図1: MPPC の EASIROC モジュールアナログ出力からの信号(a)、ピークホールド・タイミング時刻  $t=0\text{ns}$  の時の電圧値分布(b)。

### 2. 多重離散ピーク解析

ADC 分布は鋭いピークが離散的に現れている。単純なガウス分布の重ね合わせでは説明できない分布が得られた。図2では左右非対称の指数関数でフィットすると、よく説明できる。特に負に向けて指数の肩が大きいのはピークホールド型 ADC が関係すると考えている。図1(a)でピーク頂上とホールドタイミングがずれると、正常に A/D 変換してくれず、低く見積ってしまう。これが左右非対称になる原因である。具体的な関数は、

$$f(x) = \begin{cases} A \exp(-\lambda_1 (x - x_0)) \dots (x > x_0) \\ A \exp(\lambda_2 (x - x_0)) \dots (x < x_0) \end{cases}$$

で与えられる。0 p.e.と1 p.e.相当のピーク平均値をそれぞれ  $M_0$ ,  $M_1$  とすると増幅率は

$$\mu(V) = \frac{(M_{n+1} - M_n)C_{MPPC}C_{ADC}}{e}, (n = 0)$$

で与えられる。ここで  $C_{MPPC}$  は MPPC の静電容量(この型番では  $C_{MPPC} = 320$  pF)、 $C_{ADC}$  は EASIROC モジュールの A/D 変換係数(0.2 mV/ADC)、 $e$  は素電荷  $1.6 \times 10^{-19}$  C を示す。今回モジュール内蔵 PreAmp 増幅率と内蔵 Slow Shaper の減衰、そしてフラットケーブル(5 m)による減衰を含めた増幅率として評価する。

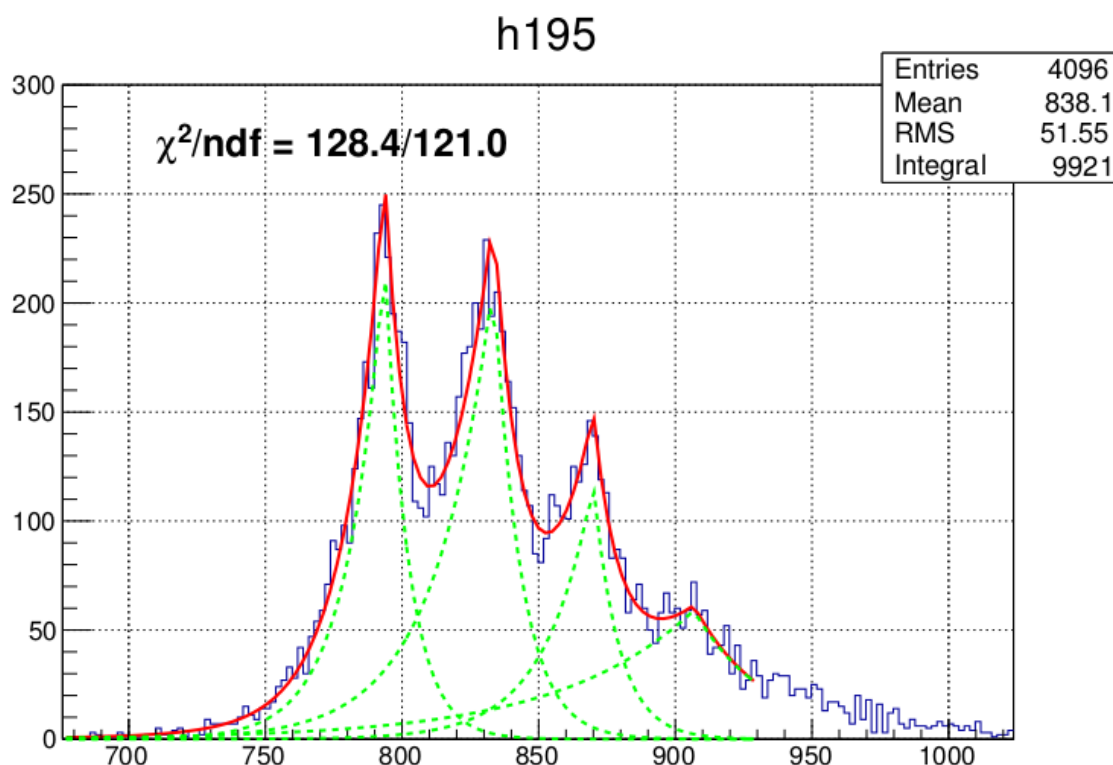


図2. EASIROC モジュールのピークホールド型 ADC による MPPC の応答分布。単純な多重ガウス分布ではなく、非対称な指数関数の集合として説明される。0 p.e.事象における負のテイルはピークホールドのタイミングのズレで生じた低い見積りや、ホールドの直前で雑音信号がある場合の落ち込みが影響している。

### 3. 解析結果

供給電圧を 0.1 V 毎に変えたときの増幅率を測定した。統計誤差はペDESTALの平均値から 64%信頼区間と1 p.e.ピークの 64%信頼区間の和の最大値から、0 p.e.と1 p.e.を占めるイベント数の平方根を割った値を採用した。系統誤差は LED 光源の光量を3種類変えた時の増幅率平均値のゆらぎで評価する。これらにより、最大誤差は統計誤差と系統誤差の2乗和の平方根で定義・評価される。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{stat}^2 + \sigma_{sys}^2}$$

図3 に供給電圧と増幅率の関係の実験結果を示す。MPPC の増幅率は供給電圧に比例する傾向を持つことがわかった。

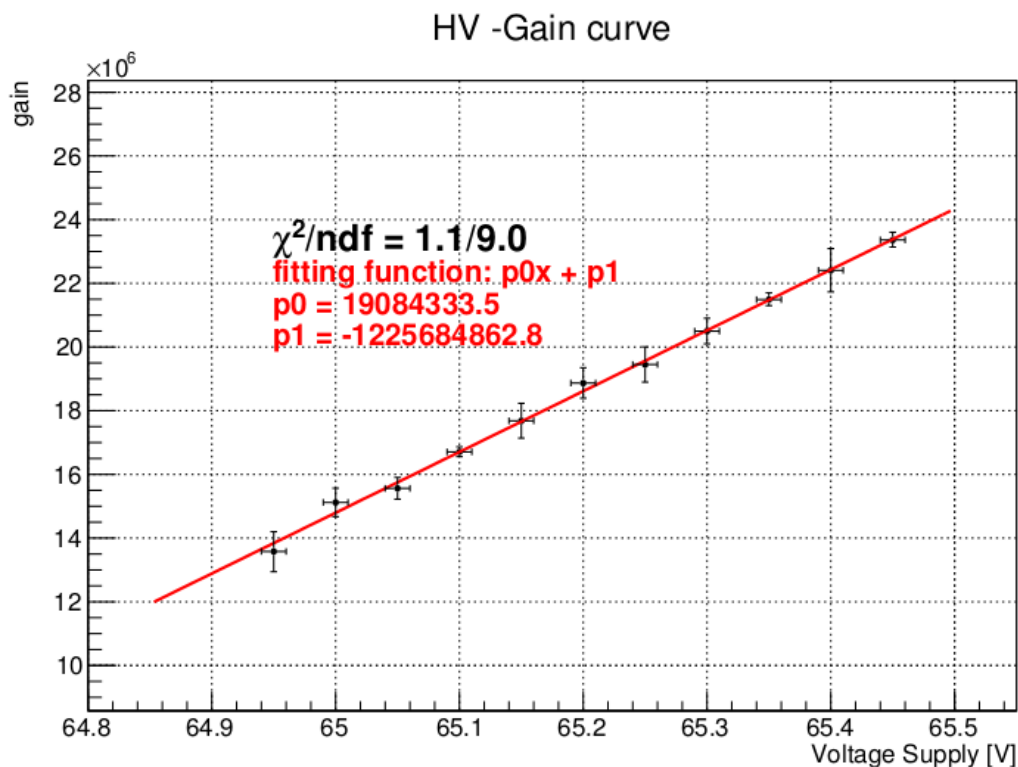
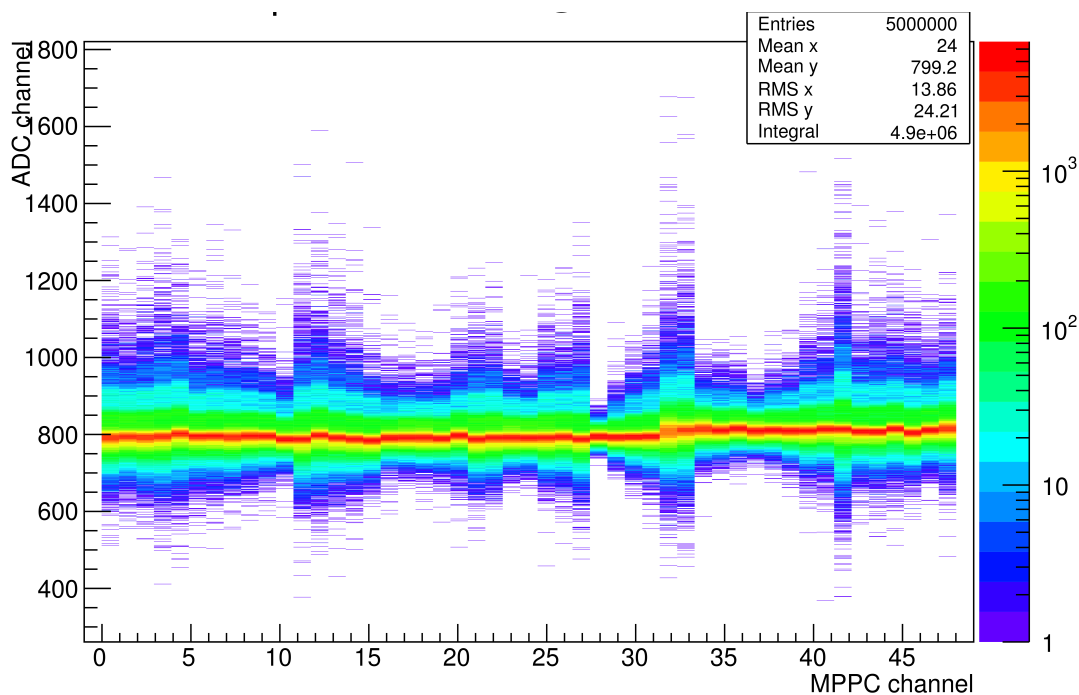


図3. 型番:S12572-100P No.875 の供給電圧と増幅率の関係。供給電圧 64.9 – 65.5Vと狭い範囲で  $1 - 2 \times 10^7$  の増幅率が得られた。MPPC のガイガーモードの電圧領域は限られていて、この領域からはずれると正常に機能しない。

### 3. ノイズ比の評価

MPPC の増幅率を評価したあと、この値を用いて ADC 分布を光電子数分布に変換し雑音比を調べる。ただしチャンネル数が 50 個と多いため、供給電圧を一定にする。MPPC を暗幕内に入れ、光漏れを防ぐ。全体のイベント数に対するしきい値 0.5, 1.5, 2.5 p.e. のイベント数の割合としてノイズ比を評価する。



**MPPC Dark Noise @ 0.5 th, 65.35 V**

0ch 7.2%	15ch 5.4%	30ch 4.3%	45ch 4.9%
1ch 7.1%	16ch 5.1%	31ch 4.7%	46ch 5.4%
2ch 6.6%	17ch 6.8%	32ch 9.7%	47ch 5.6%
3ch 7.5%	18ch 8.4%	33ch 6.5%	48ch 5.7%
4ch 7.4%	19ch 5.7%	34ch 5.2%	49ch 5.8%
5ch 6.7%	20ch 5.2%	35ch 4.2%	
6ch 5.9%	21ch 8.2%	36ch 4.2%	
7ch 5.7%	22ch 7.7%	37ch 5.5%	
8ch 5.7%	23ch 7.6%	38ch 4.2%	
9ch 4.9%	24ch 6.0%	39ch 4.5%	
10ch 5.1%	25ch 6.9%	40ch 5.0%	
11ch 7.0%	26ch 5.8%	41ch 4.4%	
12ch 6.6%	27ch 5.4%	42ch 7.5%	
13ch 6.4%	28ch 5.2%	43ch 5.4%	
14ch 6.4%	29ch 3.9%	44ch 5.1%	

**MPPC Dark Noise @ 1.5 th, 65.35 V**

0ch 1.5%	15ch 1.0%	30ch 0.7%	45ch 1.1%
1ch 1.4%	16ch 0.8%	31ch 0.9%	46ch 1.1%
2ch 1.4%	17ch 1.1%	32ch 1.8%	47ch 1.2%
3ch 2.0%	18ch 1.6%	33ch 1.6%	48ch 1.1%
4ch 2.0%	19ch 1.1%	34ch 0.5%	49ch 1.2%
5ch 1.6%	20ch 1.1%	35ch 0.5%	
6ch 1.3%	21ch 2.3%	36ch 0.4%	
7ch 1.2%	22ch 1.7%	37ch 0.4%	
8ch 1.0%	23ch 1.2%	38ch 0.5%	
9ch 0.8%	24ch 0.8%	39ch 0.6%	
10ch 0.7%	25ch 1.4%	40ch 0.8%	
11ch 1.6%	26ch 1.1%	41ch 0.8%	
12ch 1.6%	27ch 1.2%	42ch 2.1%	
13ch 1.5%	28ch 0.3%	43ch 1.2%	
14ch 1.4%	29ch 0.5%	44ch 1.1%	

**MPPC Dark Noise @ 2.5 th, 65.35 V**

0ch 0.4%	15ch 0.3%	30ch 0.2%	45ch 0.3%
1ch 0.4%	16ch 0.2%	31ch 0.3%	46ch 0.3%
2ch 0.5%	17ch 0.3%	32ch 0.7%	47ch 0.4%
3ch 0.9%	18ch 0.4%	33ch 0.6%	48ch 0.3%
4ch 0.9%	19ch 0.4%	34ch 0.1%	49ch 0.4%
5ch 0.7%	20ch 0.4%	35ch 0.1%	
6ch 0.4%	21ch 1.0%	36ch 0.1%	
7ch 0.3%	22ch 0.6%	37ch 0.1%	
8ch 0.3%	23ch 0.3%	38ch 0.1%	
9ch 0.2%	24ch 0.2%	39ch 0.1%	
10ch 0.2%	25ch 0.4%	40ch 0.2%	
11ch 0.6%	26ch 0.3%	41ch 0.2%	
12ch 0.6%	27ch 0.4%	42ch 0.8%	
13ch 0.6%	28ch 0.0%	43ch 0.4%	
14ch 0.5%	29ch 0.1%	44ch 0.4%	

#### 4. 結論

MPPC 50個の校正測定を実施し、供給電圧 64.9 – 65.5 V の領域において  $1 - 2 \times 10^7$  の増幅率の関係が得られた。ノイズ比の評価では供給電圧 65.35V において、0.5 p.e. しきい値では 5 – 8%、1.5 p.e.しきい値では 1 – 2%、2.5 p.e. しきい値では 0.1 – 0.9%が得られた。

#### 5. 考察と将来計画

1. EASIROC モジュールは MPPC に共通の電圧を供給する。本測定の本モジュールは input DAC が故障しているため、MPPC に個々にバイアスを設定することができない。
2. ピークホールドのタイミングのズレは主に Function Generator の Sync からの TTL 信号のゆらぎが影響している。このゆらぎが小さくなれば Slow Shaper 時定数を 50 ns から 25 ns にして今回よりも高い増幅率で評価できる。そしてタイミングのゆらぎをピコライト秒パルサーを用いることでタイミングを ps まで減らせる。
3. EASIROC モジュールは MPPC 最大 64ch の読出しが可能である。50個の校正測定と評価が完了したが、残り 14 個の動作確認と校正測定を実施する予定である。
4. 各ピークが太いのが気になる。Gain を上げれば相対的に細く見えるがノイズを考えるとナンセンスだ。低 Gain でピークのゆらぎを抑える方法を探っている。

付録 A: 供給電圧 - 増幅率の関係リスト

1ch No.875

fitting  $p0=(1.91\pm0.08)\times10^7$   $p1=(-1.23\pm0.05)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.36^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$1.38 \times 10^7$
65.00V	$(1.51^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.48 \times 10^7$
65.05V	$(1.56^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.58 \times 10^7$
65.10V	$(1.67^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.67 \times 10^7$
65.15V	$(1.77^{+0.03}_{-0.05})\times10^7$	$1.77 \times 10^7$
65.20V	$(1.89^{+0.05}_{-0.05})\times10^7$	$1.86 \times 10^7$
65.25V	$(1.95^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$1.96 \times 10^7$
65.30V	$(2.05^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$2.05 \times 10^7$
65.35V	$(2.15^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$2.15 \times 10^7$
65.40V	$(2.24^{+0.07}_{-0.07})\times10^7$	$2.24 \times 10^7$
65.45V	$(2.34^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$2.34 \times 10^7$

2ch No.876

fitting  $p0=(2.01\pm0.00)\times10^7$   $p1=(-1.29\pm0.00)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.55^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.54 \times 10^7$
65.00V	$(1.68^{+0.02}_{-0.01})\times10^7$	$1.64 \times 10^7$
65.05V	$(1.72^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.74 \times 10^7$
65.10V	$(1.87^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$1.85 \times 10^7$
65.15V	$(1.92^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.95 \times 10^7$
65.20V	$(1.98^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$2.05 \times 10^7$
65.25V	$(2.15^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$2.15 \times 10^7$
65.30V	$(2.21^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$2.25 \times 10^7$
65.35V	$(2.42^{+0.04}_{-0.03})\times10^7$	$2.35 \times 10^7$
65.40V	$(2.46^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$2.45 \times 10^7$
65.45V	$(2.56^{+0.03}_{-0.02})\times10^7$	$2.55 \times 10^7$

3ch No.877

fitting  $p0=(1.64\pm0.04)\times10^7$   $p1=(-1.05\pm0.03)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.34^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.36 \times 10^7$
65.00V	$(1.51^{+0.03}_{-0.05})\times10^7$	$1.44 \times 10^7$
65.05V	$(1.58^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.53 \times 10^7$
65.10V	$(1.57^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.61 \times 10^7$
65.15V	$(1.78^{+0.05}_{-0.05})\times10^7$	$1.69 \times 10^7$
65.20V	$(1.72^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.77 \times 10^7$
65.25V	$(1.84^{+0.07}_{-0.07})\times10^7$	$1.86 \times 10^7$
65.30V	$(1.96^{+0.03}_{-0.02})\times10^7$	$1.94 \times 10^7$
65.35V	$(2.06^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$2.02 \times 10^7$
65.40V	$(2.09^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$2.10 \times 10^7$
65.45V	$(2.12^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$2.18 \times 10^7$

4ch No.878

fitting  $p0=(1.24\pm0.08)\times10^7$   $p1=(-0.79\pm0.05)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.43^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.46 \times 10^7$
65.00V	$(1.56^{+0.04}_{-0.05})\times10^7$	$1.52 \times 10^7$
65.05V	$(1.59^{+0.08}_{-0.08})\times10^7$	$1.58 \times 10^7$
65.10V	$(1.67^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.65 \times 10^7$
65.15V	$(1.78^{+0.08}_{-0.08})\times10^7$	$1.71 \times 10^7$
65.20V	$(1.81^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.77 \times 10^7$
65.25V	$(1.80^{+0.03}_{-0.04})\times10^7$	$1.83 \times 10^7$
65.30V	$(1.84^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$1.89 \times 10^7$
65.35V	$(1.97^{+0.07}_{-0.07})\times10^7$	$1.96 \times 10^7$
65.40V	$(2.01^{+0.07}_{-0.07})\times10^7$	$2.02 \times 10^7$
65.45V	$(2.06^{+0.06}_{-0.07})\times10^7$	$2.08 \times 10^7$

5ch No.879

fitting  $p0=(0.95\pm0.00)\times10^7$   $p1=(-0.61\pm0.00)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.32^{+0.02}_{-0.01})\times10^7$	$1.31 \times 10^7$
65.00V	$(1.33^{+0.05}_{-0.05})\times10^7$	$1.35 \times 10^7$
65.05V	$(1.36^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.40 \times 10^7$
65.10V	$(1.41^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.45 \times 10^7$
65.15V	$(1.49^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.50 \times 10^7$
65.20V	$(1.50^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.54 \times 10^7$
65.25V	$(1.67^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.59 \times 10^7$
65.30V	$(1.64^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.64 \times 10^7$
65.35V	$(1.70^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.69 \times 10^7$
65.40V	$(1.76^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$1.73 \times 10^7$
65.45V	$(1.74^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.78 \times 10^7$

6ch No.880

fitting  $p0=(1.87\pm0.02)\times10^7$   $p1=(-1.20\pm0.01)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.46^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.35 \times 10^7$
65.00V	$(1.44^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.45 \times 10^7$
65.05V	$(1.49^{+0.03}_{-0.04})\times10^7$	$1.54 \times 10^7$
65.10V	$(1.60^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.63 \times 10^7$
65.15V	$(1.74^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.73 \times 10^7$
65.20V	$(1.83^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.82 \times 10^7$
65.25V	$(1.92^{+0.01}_{-0.01})\times10^7$	$1.91 \times 10^7$
65.30V	$(2.05^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$2.01 \times 10^7$
65.35V	$(2.10^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$2.10 \times 10^7$
65.40V	$(2.14^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$2.19 \times 10^7$
65.45V	$(2.34^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$2.29 \times 10^7$

**7ch No.881**

fitting  $p_0=(1.71\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-1.09\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.35^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.36 \times 10^7$
65.00V	$(1.44^{+0.05}_{-0.06})\times 10^7$	$1.44 \times 10^7$
65.05V	$(1.52^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.53 \times 10^7$
65.10V	$(1.63^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$1.61 \times 10^7$
65.15V	$(1.71^{+0.07}_{-0.06})\times 10^7$	$1.70 \times 10^7$
65.20V	$(1.76^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.78 \times 10^7$
65.25V	$(1.87^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.87 \times 10^7$
65.30V	$(2.02^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.95 \times 10^7$
65.35V	$(2.03^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.04 \times 10^7$
65.40V	$(2.08^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$2.12 \times 10^7$
65.45V	$(2.18^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.21 \times 10^7$

**8ch No.882**

fitting  $p_0=(1.69\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.08\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.41^{+0.11}_{-0.03})\times 10^7$	$1.39 \times 10^7$
65.00V	$(1.45^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.47 \times 10^7$
65.05V	$(1.49^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.56 \times 10^7$
65.10V	$(1.67^{+0.04}_{-0.03})\times 10^7$	$1.64 \times 10^7$
65.15V	$(1.74^{+0.07}_{-0.07})\times 10^7$	$1.73 \times 10^7$
65.20V	$(1.83^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.81 \times 10^7$
65.25V	$(1.97^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.90 \times 10^7$
65.30V	$(1.98^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.98 \times 10^7$
65.35V	$(2.05^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.06 \times 10^7$
65.40V	$(2.13^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.15 \times 10^7$
65.45V	$(2.19^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$2.23 \times 10^7$

**9ch No.883**

fitting  $p_0=(1.66\pm 0.06)\times 10^7$   $p_1=(-1.06\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.33^{+0.02}_{-0.01})\times 10^7$	$1.34 \times 10^7$
65.00V	$(1.41^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.42 \times 10^7$
65.05V	$(1.53^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.50 \times 10^7$
65.10V	$(1.55^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$1.58 \times 10^7$
65.15V	$(1.65^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.67 \times 10^7$
65.20V	$(1.75^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.75 \times 10^7$
65.25V	$(1.78^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.83 \times 10^7$
65.30V	$(1.94^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.92 \times 10^7$
65.35V	$(2.02^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.00 \times 10^7$
65.40V	$(2.07^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.08 \times 10^7$
65.45V	$(2.14^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.16 \times 10^7$

**10ch No.884**

fitting  $p_0=(1.39\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-0.89\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.17^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.12 \times 10^7$
65.00V	$(1.23^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.19 \times 10^7$
65.05V	$(1.20^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.26 \times 10^7$
65.10V	$(1.32^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.33 \times 10^7$
65.15V	$(1.38^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.40 \times 10^7$
65.20V	$(1.48^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.47 \times 10^7$
65.25V	$(1.58^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.54 \times 10^7$
65.30V	$(1.66^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.61 \times 10^7$
65.35V	$(1.67^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.68 \times 10^7$
65.40V	$(1.71^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.75 \times 10^7$
65.45V	$(1.78^{+0.07}_{-0.07})\times 10^7$	$1.81 \times 10^7$

**11ch No.885**

fitting  $p_0=(1.38\pm 0.06)\times 10^7$   $p_1=(-0.88\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.60^{+0.02}_{-0.01})\times 10^7$	$1.71 \times 10^7$
65.00V	$(1.78^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.78 \times 10^7$
65.05V	$(1.86^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.85 \times 10^7$
65.10V	$(1.94^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.92 \times 10^7$
65.15V	$(1.93^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.99 \times 10^7$
65.20V	$(2.06^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.06 \times 10^7$
65.25V	$(2.03^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.13 \times 10^7$
65.30V	$(2.18^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.19 \times 10^7$
65.35V	$(2.32^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.26 \times 10^7$
65.40V	$(2.32^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.33 \times 10^7$
65.45V	$(2.37^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.40 \times 10^7$

**12ch No.886**

fitting  $p_0=(1.81\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-1.16\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.63^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.62 \times 10^7$
65.00V	$(1.74^{+0.03}_{-0.04})\times 10^7$	$1.71 \times 10^7$
65.05V	$(1.83^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.80 \times 10^7$
65.10V	$(1.84^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.89 \times 10^7$
65.15V	$(1.98^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.99 \times 10^7$
65.20V	$(2.09^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$2.08 \times 10^7$
65.25V	$(2.20^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.17 \times 10^7$
65.30V	$(2.28^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.26 \times 10^7$
65.35V	$(2.31^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.35 \times 10^7$
65.40V	$(2.38^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$2.44 \times 10^7$
65.45V	$(2.42^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.53 \times 10^7$

**13ch No.888**

fitting  $p0=(1.40\pm0.00)\times10^7$   $p1=(-0.90\pm0.00)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.37^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$1.37 \times10^7$
65.00V	$(1.45^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.44 \times10^7$
65.05V	$(1.53^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.51 \times10^7$
65.10V	$(1.55^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.58 \times10^7$
65.15V	$(1.68^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.65 \times10^7$
65.20V	$(1.73^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.72 \times10^7$
65.25V	$(1.78^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.79 \times10^7$
65.30V	$(1.88^{+0.05}_{-0.05})\times10^7$	$1.86 \times10^7$
65.35V	$(2.14^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.93 \times10^7$
65.40V	$(2.11^{+0.06}_{-0.07})\times10^7$	$2.00 \times10^7$
65.45V	$(2.21^{+0.03}_{-0.04})\times10^7$	$2.07 \times10^7$

**14ch No.889**

fitting  $p0=(1.46\pm0.05)\times10^7$   $p1=(-0.93\pm0.03)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.32^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.33 \times10^7$
65.00V	$(1.37^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.40 \times10^7$
65.05V	$(1.46^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.47 \times10^7$
65.10V	$(1.57^{+0.03}_{-0.02})\times10^7$	$1.54 \times10^7$
65.15V	$(1.61^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.62 \times10^7$
65.20V	$(1.72^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.69 \times10^7$
65.25V	$(1.81^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.76 \times10^7$
65.30V	$(1.84^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.84 \times10^7$
65.35V	$(1.93^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.91 \times10^7$
65.40V	$(1.91^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.98 \times10^7$
65.45V	$(2.01^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$2.05 \times10^7$

**15ch No.890**

fitting  $p0=(1.70\pm0.05)\times10^7$   $p1=(-1.09\pm0.03)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.11^{+0.01}_{-0.01})\times10^7$	$1.12 \times10^7$
65.00V	$(1.21^{+0.01}_{-0.02})\times10^7$	$1.20 \times10^7$
65.05V	$(1.28^{+0.01}_{-0.01})\times10^7$	$1.29 \times10^7$
65.10V	$(1.39^{+0.02}_{-0.03})\times10^7$	$1.37 \times10^7$
65.15V	$(1.48^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.46 \times10^7$
65.20V	$(1.53^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.54 \times10^7$
65.25V	$(1.66^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.63 \times10^7$
65.30V	$(1.75^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.71 \times10^7$
65.35V	$(1.79^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.80 \times10^7$
65.40V	$(1.86^{+0.02}_{-0.03})\times10^7$	$1.88 \times10^7$
65.45V	$(1.96^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.97 \times10^7$

**16ch No.891**

fitting  $p0=(1.45\pm0.05)\times10^7$   $p1=(-0.93\pm0.04)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.03^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.04 \times10^7$
65.00V	$(1.14^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.12 \times10^7$
65.05V	$(1.21^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.19 \times10^7$
65.10V	$(1.25^{+0.05}_{-0.05})\times10^7$	$1.26 \times10^7$
65.15V	$(1.30^{+0.02}_{-0.03})\times10^7$	$1.33 \times10^7$
65.20V	$(1.40^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.41 \times10^7$
65.25V	$(1.49^{+0.10}_{-0.10})\times10^7$	$1.48 \times10^7$
65.30V	$(1.53^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.55 \times10^7$
65.35V	$(1.65^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.62 \times10^7$
65.40V	$(1.72^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.69 \times10^7$
65.45V	$(1.73^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.77 \times10^7$

**17ch No.892**

fitting  $p0=(1.56\pm0.00)\times10^7$   $p1=(-1.01\pm0.00)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.85^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$0.85 \times10^7$
65.00V	$(0.95^{+0.06}_{-0.06})\times10^7$	$0.93 \times10^7$
65.05V	$(1.02^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.01 \times10^7$
65.10V	$(1.10^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.09 \times10^7$
65.15V	$(1.15^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.16 \times10^7$
65.20V	$(1.25^{+0.02}_{-0.03})\times10^7$	$1.24 \times10^7$
65.25V	$(1.27^{+0.01}_{-0.02})\times10^7$	$1.32 \times10^7$
65.30V	$(1.45^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.40 \times10^7$
65.35V	$(1.51^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$1.48 \times10^7$
65.40V	$(1.57^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.55 \times10^7$
65.45V	$(1.62^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$1.63 \times10^7$

**18ch No.893**

fitting  $p0=(1.36\pm0.04)\times10^7$   $p1=(-0.88\pm0.03)\times10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.77^{+0.02}_{-0.02})\times10^7$	$0.79 \times10^7$
65.00V	$(0.86^{+0.02}_{-0.03})\times10^7$	$0.86 \times10^7$
65.05V	$(0.99^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$0.93 \times10^7$
65.10V	$(1.02^{+0.03}_{-0.03})\times10^7$	$0.99 \times10^7$
65.15V	$(1.09^{+0.05}_{-0.05})\times10^7$	$1.06 \times10^7$
65.20V	$(1.19^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.13 \times10^7$
65.25V	$(1.19^{+0.02}_{-0.03})\times10^7$	$1.20 \times10^7$
65.30V	$(1.24^{+0.01}_{-0.03})\times10^7$	$1.27 \times10^7$
65.35V	$(1.31^{+0.03}_{-0.04})\times10^7$	$1.34 \times10^7$
65.40V	$(1.41^{+0.04}_{-0.04})\times10^7$	$1.40 \times10^7$
65.45V	$(1.56^{+0.05}_{-0.05})\times10^7$	$1.47 \times10^7$



**19ch No.894**

fitting  $p_0=(1.38\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-0.89\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.77^{+0.08}_{-0.06})\times 10^7$	$0.85 \times 10^7$
65.00V	$(0.86^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$0.92 \times 10^7$
65.05V	$(1.02^{+0.07}_{-0.07})\times 10^7$	$0.99 \times 10^7$
65.10V	$(1.10^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.06 \times 10^7$
65.15V	$(1.20^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.13 \times 10^7$
65.20V	$(1.17^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.20 \times 10^7$
65.25V	$(1.32^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.27 \times 10^7$
65.30V	$(1.35^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.34 \times 10^7$
65.35V	$(1.38^{+0.07}_{-0.07})\times 10^7$	$1.41 \times 10^7$
65.40V	$(1.42^{+0.04}_{-0.05})\times 10^7$	$1.48 \times 10^7$
65.45V	$(1.54^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.55 \times 10^7$

**20ch No.895**

fitting  $p_0=(1.55\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-0.99\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.09^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.09 \times 10^7$
65.00V	$(1.17^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.17 \times 10^7$
65.05V	$(1.26^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.25 \times 10^7$
65.10V	$(1.40^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$1.33 \times 10^7$
65.15V	$(1.46^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.40 \times 10^7$
65.20V	$(1.47^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.48 \times 10^7$
65.25V	$(1.52^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.56 \times 10^7$
65.30V	$(1.65^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.64 \times 10^7$
65.35V	$(1.68^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.71 \times 10^7$
65.40V	$(1.80^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.79 \times 10^7$
65.45V	$(1.90^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.87 \times 10^7$

**21ch No.896**

fitting  $p_0=(1.51\pm 0.07)\times 10^7$   $p_1=(-0.97\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.10^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.06 \times 10^7$
65.00V	$(1.16^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.14 \times 10^7$
65.05V	$(1.19^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.21 \times 10^7$
65.10V	$(1.27^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.29 \times 10^7$
65.15V	$(1.42^{+0.03}_{-0.04})\times 10^7$	$1.36 \times 10^7$
65.20V	$(1.44^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.44 \times 10^7$
65.25V	$(1.52^{+0.04}_{-0.05})\times 10^7$	$1.51 \times 10^7$
65.30V	$(1.56^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.59 \times 10^7$
65.35V	$(1.65^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.67 \times 10^7$
65.40V	$(1.74^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.74 \times 10^7$
65.45V	$(1.85^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.82 \times 10^7$

**22ch No.897**

fitting  $p_0=(1.28\pm 0.05)\times 10^7$   $p_1=(-0.82\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.29^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.32 \times 10^7$
65.00V	$(1.42^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.38 \times 10^7$
65.05V	$(1.49^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.45 \times 10^7$
65.10V	$(1.58^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.51 \times 10^7$
65.15V	$(1.55^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.58 \times 10^7$
65.20V	$(1.63^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.64 \times 10^7$
65.25V	$(1.71^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.71 \times 10^7$
65.30V	$(1.72^{+0.08}_{-0.08})\times 10^7$	$1.77 \times 10^7$
65.35V	$(1.82^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.83 \times 10^7$
65.40V	$(1.90^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.90 \times 10^7$
65.45V	$(1.99^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.96 \times 10^7$

**23ch No.898**

fitting  $p_0=(1.62\pm 0.06)\times 10^7$   $p_1=(-1.04\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.96^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$0.98 \times 10^7$
65.00V	$(1.08^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.06 \times 10^7$
65.05V	$(1.11^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.14 \times 10^7$
65.10V	$(1.24^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.22 \times 10^7$
65.15V	$(1.33^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.30 \times 10^7$
65.20V	$(1.41^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.38 \times 10^7$
65.25V	$(1.45^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.46 \times 10^7$
65.30V	$(1.53^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.54 \times 10^7$
65.35V	$(1.57^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.63 \times 10^7$
65.40V	$(1.72^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.71 \times 10^7$
65.45V	$(1.80^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.79 \times 10^7$

**24ch No.901**

fitting  $p_0=(2.03\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.31\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.01^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$0.95 \times 10^7$
65.00V	$(1.02^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.06 \times 10^7$
65.05V	$(1.11^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.16 \times 10^7$
65.10V	$(1.23^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.26 \times 10^7$
65.15V	$(1.39^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.36 \times 10^7$
65.20V	$(1.46^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.46 \times 10^7$
65.25V	$(1.61^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.56 \times 10^7$
65.30V	$(1.67^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.66 \times 10^7$
65.35V	$(1.76^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.77 \times 10^7$
65.40V	$(1.85^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.87 \times 10^7$
65.45V	$(1.95^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.97 \times 10^7$

**25ch No.902**

fitting  $p_0=(1.70\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.09\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.33^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.36 \times 10^7$
65.00V	$(1.46^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.44 \times 10^7$
65.05V	$(1.48^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.53 \times 10^7$
65.10V	$(1.60^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.61 \times 10^7$
65.15V	$(1.73^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.70 \times 10^7$
65.20V	$(1.80^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.78 \times 10^7$
65.25V	$(1.86^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.87 \times 10^7$
65.30V	$(2.00^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.95 \times 10^7$
65.35V	$(2.00^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.04 \times 10^7$
65.40V	$(2.12^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.12 \times 10^7$
65.45V	$(2.17^{+0.05}_{-0.03})\times 10^7$	$2.21 \times 10^7$

**26ch No.903**

fitting  $p_0=(1.78\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-1.14\pm 0.02)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.36^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.38 \times 10^7$
65.00V	$(1.48^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.47 \times 10^7$
65.05V	$(1.60^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.56 \times 10^7$
65.10V	$(1.65^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.65 \times 10^7$
65.15V	$(1.72^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.74 \times 10^7$
65.20V	$(1.80^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.83 \times 10^7$
65.25V	$(1.92^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.92 \times 10^7$
65.30V	$(2.02^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.01 \times 10^7$
65.35V	$(2.11^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.10 \times 10^7$
65.40V	$(2.20^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.19 \times 10^7$
65.45V	$(2.24^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.27 \times 10^7$

**27ch No.904**

fitting  $p_0=(1.64\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.05\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.71^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.73 \times 10^7$
65.00V	$(1.79^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.81 \times 10^7$
65.05V	$(1.91^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.89 \times 10^7$
65.10V	$(2.02^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.97 \times 10^7$
65.15V	$(2.05^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.06 \times 10^7$
65.20V	$(2.13^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.14 \times 10^7$
65.25V	$(2.26^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.22 \times 10^7$
65.30V	$(2.30^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.30 \times 10^7$
65.35V	$(2.32^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.38 \times 10^7$
65.40V	$(2.46^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.47 \times 10^7$
65.45V	$(2.54^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$2.55 \times 10^7$

**28ch No.909**

fitting  $p_0=(1.30\pm 0.11)\times 10^7$   $p_1=(-0.84\pm 0.07)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
65.30V	$(0.91^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$0.92 \times 10^7$
65.35V	$(1.00^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$0.99 \times 10^7$
65.40V	$(1.04^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.05 \times 10^7$
65.45V	$(1.15^{+0.08}_{-0.08})\times 10^7$	$1.12 \times 10^7$

**29ch No.910**

fitting  $p_0=(1.79\pm 0.07)\times 10^7$   $p_1=(-1.16\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.87^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$0.79 \times 10^7$
65.05V	$(0.95^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$0.97 \times 10^7$
65.15V	$(1.12^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.15 \times 10^7$
65.25V	$(1.29^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.33 \times 10^7$
65.35V	$(1.53^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.51 \times 10^7$
65.45V	$(1.68^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.68 \times 10^7$

**30ch No.911**

fitting  $p_0=(1.68\pm 0.06)\times 10^7$   $p_1=(-1.08\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.18^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.19 \times 10^7$
65.05V	$(1.35^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.36 \times 10^7$
65.15V	$(1.51^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.52 \times 10^7$
65.25V	$(1.74^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.69 \times 10^7$
65.35V	$(1.83^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.86 \times 10^7$
65.45V	$(2.02^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.03 \times 10^7$

**31ch No.912**  
fitting  $p_0=(1.85\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-1.19\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.36^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.41 \times 10^7$
65.05V	$(1.62^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.59 \times 10^7$
65.15V	$(1.79^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.78 \times 10^7$
65.25V	$(2.00^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.97 \times 10^7$
65.35V	$(2.15^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.15 \times 10^7$
65.45V	$(2.27^{+0.04}_{-0.03})\times 10^7$	$2.34 \times 10^7$

**32ch No.914**  
fitting  $p_0=(1.48\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-0.94\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.60^{+0.03}_{-0.04})\times 10^7$	$1.62 \times 10^7$
65.05V	$(1.76^{+0.04}_{-0.05})\times 10^7$	$1.77 \times 10^7$
65.15V	$(2.00^{+0.04}_{-0.05})\times 10^7$	$1.92 \times 10^7$
65.25V	$(2.10^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.06 \times 10^7$
65.35V	$(2.16^{+0.03}_{-0.04})\times 10^7$	$2.21 \times 10^7$
65.45V	$(2.48^{+0.11}_{-0.11})\times 10^7$	$2.36 \times 10^7$

**33ch No.915**  
fitting  $p_0=(2.11\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.35\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.62^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.69 \times 10^7$
65.05V	$(1.94^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.90 \times 10^7$
65.15V	$(2.13^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.11 \times 10^7$
65.25V	$(2.22^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$2.32 \times 10^7$
65.35V	$(2.57^{+0.04}_{-0.03})\times 10^7$	$2.53 \times 10^7$
65.45V	$(2.71^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.74 \times 10^7$

**34ch No.916**  
fitting  $p_0=(2.20\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.42\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.03^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$0.97 \times 10^7$
65.05V	$(1.17^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.19 \times 10^7$
65.15V	$(1.39^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.41 \times 10^7$
65.25V	$(1.59^{+0.03}_{-0.04})\times 10^7$	$1.63 \times 10^7$
65.35V	$(1.87^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.85 \times 10^7$
65.45V	$(2.09^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.07 \times 10^7$

**35ch No.917**  
fitting  $p_0=(2.30\pm 0.05)\times 10^7$   $p_1=(-1.48\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.98^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$0.97 \times 10^7$
65.05V	$(1.19^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.20 \times 10^7$
65.15V	$(1.41^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.43 \times 10^7$
65.25V	$(1.71^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.66 \times 10^7$
65.35V	$(1.87^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.89 \times 10^7$
65.45V	$(2.10^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.12 \times 10^7$

**36ch No.918**  
fitting  $p_0=(2.42\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.57\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.88^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$0.91 \times 10^7$
65.05V	$(1.21^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.15 \times 10^7$
65.15V	$(1.37^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.40 \times 10^7$
65.25V	$(1.64^{+0.02}_{-0.01})\times 10^7$	$1.64 \times 10^7$
65.35V	$(1.84^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$1.88 \times 10^7$
65.45V	$(2.13^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.12 \times 10^7$

**37ch No.919**  
fitting  $p_0=(2.16\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-1.40\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
65.05V	$(0.82^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$0.79 \times 10^7$
65.15V	$(0.97^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.01 \times 10^7$
65.25V	$(1.25^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$1.22 \times 10^7$
65.35V	$(1.43^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.44 \times 10^7$
65.45V	$(1.67^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.66 \times 10^7$

**38ch No.920**  
fitting  $p_0=(2.06\pm 0.07)\times 10^7$   $p_1=(-1.33\pm 0.05)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.97^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$0.88 \times 10^7$
65.05V	$(1.03^{+0.02}_{-0.03})\times 10^7$	$1.09 \times 10^7$
65.15V	$(1.26^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.29 \times 10^7$
65.25V	$(1.50^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.50 \times 10^7$
65.35V	$(1.72^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.70 \times 10^7$
65.45V	$(1.91^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.91 \times 10^7$

**39ch No.923**  
fitting  $p_0=(2.29\pm 0.07)\times 10^7$   $p_1=(-1.48\pm 0.05)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(0.96^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$0.98 \times 10^7$
65.05V	$(1.25^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.21 \times 10^7$
65.15V	$(1.39^{+0.06}_{-0.06})\times 10^7$	$1.44 \times 10^7$
65.25V	$(1.70^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.67 \times 10^7$
65.35V	$(1.90^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.90 \times 10^7$
65.45V	$(2.10^{+0.03}_{-0.02})\times 10^7$	$2.13 \times 10^7$

**40ch No.924**  
fitting  $p_0=(1.92\pm 0.06)\times 10^7$   $p_1=(-1.23\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.39^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.40 \times 10^7$
65.05V	$(1.55^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.59 \times 10^7$
65.15V	$(1.84^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.78 \times 10^7$
65.25V	$(1.97^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.97 \times 10^7$
65.35V	$(2.17^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.16 \times 10^7$
65.45V	$(2.34^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.36 \times 10^7$

**41ch No.925**  
fitting  $p_0=(2.06\pm 0.06)\times 10^7$   $p_1=(-1.32\pm 0.04)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.44^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.46 \times 10^7$
65.05V	$(1.63^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.67 \times 10^7$
65.15V	$(1.93^{+0.03}_{-0.02})\times 10^7$	$1.87 \times 10^7$
65.25V	$(2.11^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.08 \times 10^7$
65.35V	$(2.30^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.28 \times 10^7$
65.45V	$(2.45^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.49 \times 10^7$

**42ch No.926**  
fitting  $p_0=(1.79\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.15\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.90^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.89 \times 10^7$
65.05V	$(2.02^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.07 \times 10^7$
65.15V	$(2.23^{+0.03}_{-0.02})\times 10^7$	$2.25 \times 10^7$
65.25V	$(2.46^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.43 \times 10^7$
65.35V	$(2.58^{+0.03}_{-0.02})\times 10^7$	$2.61 \times 10^7$
65.45V	$(2.80^{+0.04}_{-0.03})\times 10^7$	$2.79 \times 10^7$

**43ch No.857**  
fitting  $p_0=(2.01\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-1.29\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.26^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.27 \times 10^7$
65.05V	$(1.47^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.47 \times 10^7$
65.15V	$(1.67^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.67 \times 10^7$
65.25V	$(1.92^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.87 \times 10^7$
65.35V	$(2.06^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.07 \times 10^7$
65.45V	$(2.24^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.28 \times 10^7$

**44ch No.858**  
fitting  $p_0=(1.86\pm 0.03)\times 10^7$   $p_1=(-1.19\pm 0.02)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.43^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.42 \times 10^7$
65.05V	$(1.56^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.61 \times 10^7$
65.15V	$(1.76^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.79 \times 10^7$
65.25V	$(1.99^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.98 \times 10^7$
65.35V	$(2.23^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.17 \times 10^7$
65.45V	$(2.28^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.35 \times 10^7$

**45ch No.859**  
fitting  $p_0=(1.93\pm 0.08)\times 10^7$   $p_1=(-1.24\pm 0.05)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.40^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.42 \times 10^7$
65.05V	$(1.61^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.61 \times 10^7$
65.15V	$(1.83^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.81 \times 10^7$
65.25V	$(1.99^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.00 \times 10^7$
65.35V	$(2.22^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$2.19 \times 10^7$
65.45V	$(2.36^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.39 \times 10^7$

**46ch No.860**  
fitting  $p_0=(1.93\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.24\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.27^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.29 \times 10^7$
65.05V	$(1.51^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.48 \times 10^7$
65.15V	$(1.66^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.67 \times 10^7$
65.25V	$(1.85^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.87 \times 10^7$
65.35V	$(2.08^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.06 \times 10^7$
65.45V	$(2.25^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$2.25 \times 10^7$

**47ch No.961**  
fitting  $p_0=(1.84\pm 0.04)\times 10^7$   $p_1=(-1.18\pm 0.03)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.01^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$0.97 \times 10^7$
65.05V	$(1.13^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.15 \times 10^7$
65.15V	$(1.33^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.34 \times 10^7$
65.25V	$(1.52^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.52 \times 10^7$
65.35V	$(1.72^{+0.01}_{-0.01})\times 10^7$	$1.70 \times 10^7$
65.45V	$(1.88^{+0.01}_{-0.02})\times 10^7$	$1.89 \times 10^7$

**48ch No.862**  
fitting  $p_0=(1.77\pm 0.09)\times 10^7$   $p_1=(-1.13\pm 0.06)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.42^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.44 \times 10^7$
65.05V	$(1.62^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.61 \times 10^7$
65.15V	$(1.79^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$1.79 \times 10^7$
65.25V	$(1.99^{+0.03}_{-0.02})\times 10^7$	$1.97 \times 10^7$
65.35V	$(2.12^{+0.05}_{-0.05})\times 10^7$	$2.14 \times 10^7$
65.45V	$(2.30^{+0.04}_{-0.03})\times 10^7$	$2.32 \times 10^7$

49ch No.863

fitting  $p_0=(1.92\pm 0.00)\times 10^7$   $p_1=(-1.24\pm 0.00)\times 10^9$

HV	Gain(EXP)	Gain(Fit)
64.95V	$(1.22^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.26 \times 10^7$
65.05V	$(1.44^{+0.02}_{-0.02})\times 10^7$	$1.45 \times 10^7$
65.15V	$(1.68^{+0.04}_{-0.04})\times 10^7$	$1.64 \times 10^7$
65.25V	$(1.86^{+0.02}_{-0.01})\times 10^7$	$1.83 \times 10^7$
65.35V	$(1.99^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.02 \times 10^7$
65.45V	$(2.20^{+0.03}_{-0.03})\times 10^7$	$2.22 \times 10^7$

付録 B: MPPC: S12572-100P カタログ

■ 構成

項目	記号	S12572						単位
		-025C	-050C	-100C	-025P	-050P	-100P	
有効受光面サイズ	-	3 × 3			3 × 3			mm
ピクセルピッチ	-	25	50	100	25	50	100	μm
ピクセル数	-	14400	3600	900	14400	3600	900	-
有感部の開口率	-	65	62	78	65	62	78	%
パッケージ	-	セラミック			表面実装型			-
窓材	-	エポキシ樹脂			エポキシ樹脂			-
窓材屈折率	-	1.59			1.55			-

■ 絶対最大定格

項目	記号	S12572						単位
		-025C	-050C	-100C	-025P	-050P	-100P	
動作温度*1	Topr	-20 ~ +40			0 ~ +40			°C
保存温度*1	Tstg	-20 ~ +60						°C
リフローはんだ条件*2	Tsol	-			ピーク温度: 240 °C, 2回 (P.6参照)			-
はんだ付け条件	-	350 °C以下, 1回, 3秒以内*3			-			-

\*1: 結露なきこと

\*2: JEDEC level 5a

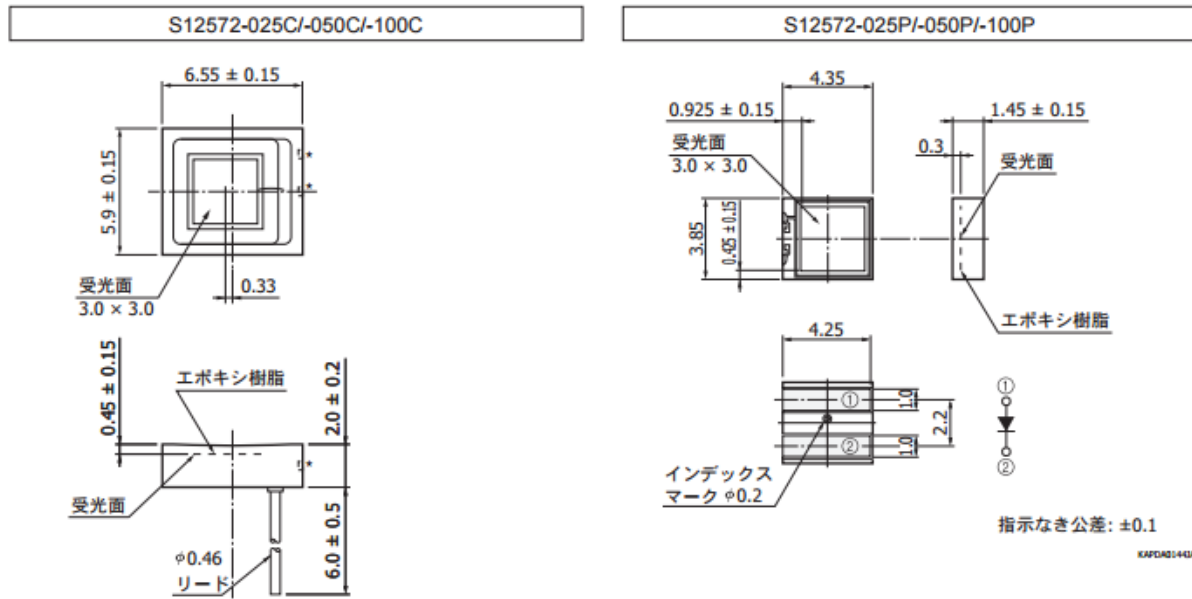
\*3: リード根元より1 mm以上離す

注) 絶対最大定格を一時でも超えると、製品の品質を損なう恐れがあります。必ず絶対最大定格の範囲内で使用してください。

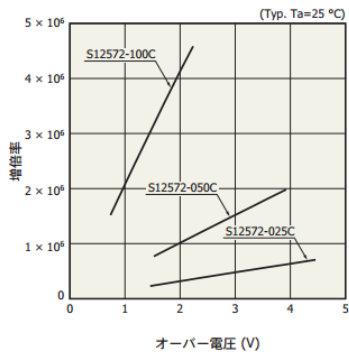
■ 電気的および光学的特性 (指定のない場合はTyp. Ta=25 °C)

項目	記号	S12572						単位
		-025C	-050C	-100C	-025P	-050P	-100P	
感度波長範囲	λ	320 ~ 900			320 ~ 900			nm
最大感度波長	λp	450			450			nm
検出効率 (λ=λp)*4	PDE	35			35			%
ダークカウント*5	Typ.	1000			1000			kcps
	Max.	2000			2000			
時間分解能 (FWHM)*6	-	250	250	300	250	250	300	ps
端子間容量	Ct	320			320			pF
増倍率	M	$5.15 \times 10^5$	$1.25 \times 10^6$	$2.8 \times 10^6$	$5.15 \times 10^5$	$1.25 \times 10^6$	$2.8 \times 10^6$	-
増倍率の温度係数	ΔTM	$8.2 \times 10^3$	$2.7 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$	$8.2 \times 10^3$	$2.7 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$	/°C
降伏電圧	VBR	65 ± 10			65 ± 10			V
推奨動作電圧	Vop	VBR + 3.5	VBR + 2.6	VBR + 1.4	VBR + 3.5	VBR + 2.6	VBR + 1.4	V
推奨動作電圧の温度係数	ΔTVop	60			60			mV/°C

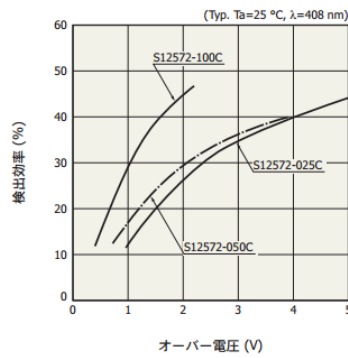
❖ 外形寸法図 (単位: mm)



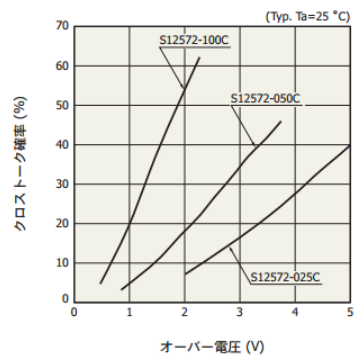
❖ 増倍率-オーバー電圧



❖ 検出効率-オーバー電圧



❖ クロストーク確率-オーバー電圧



付録 C: セットアップ

