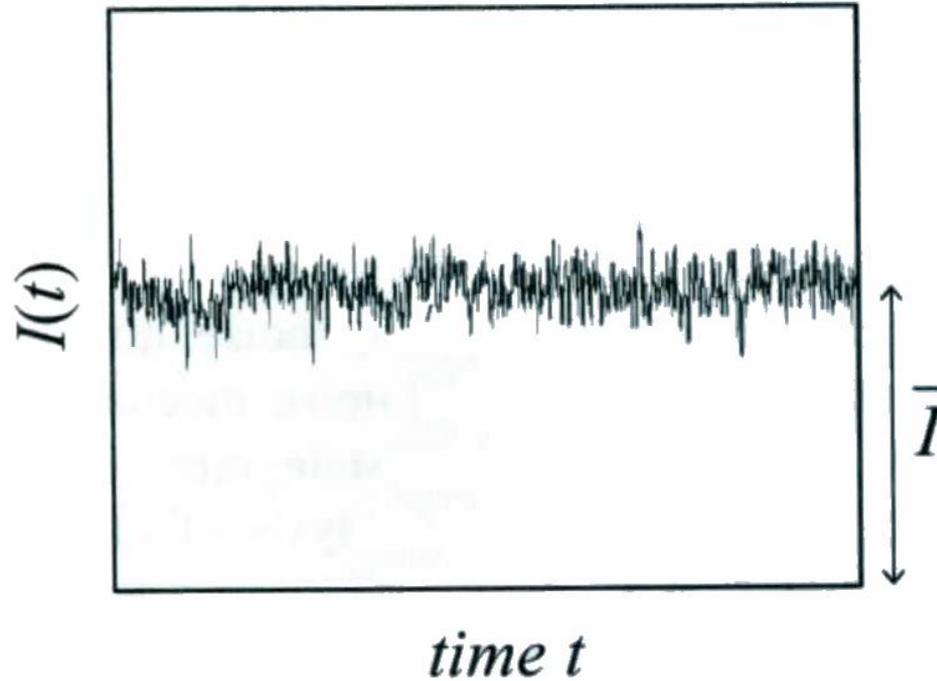


1/f ノイズについて

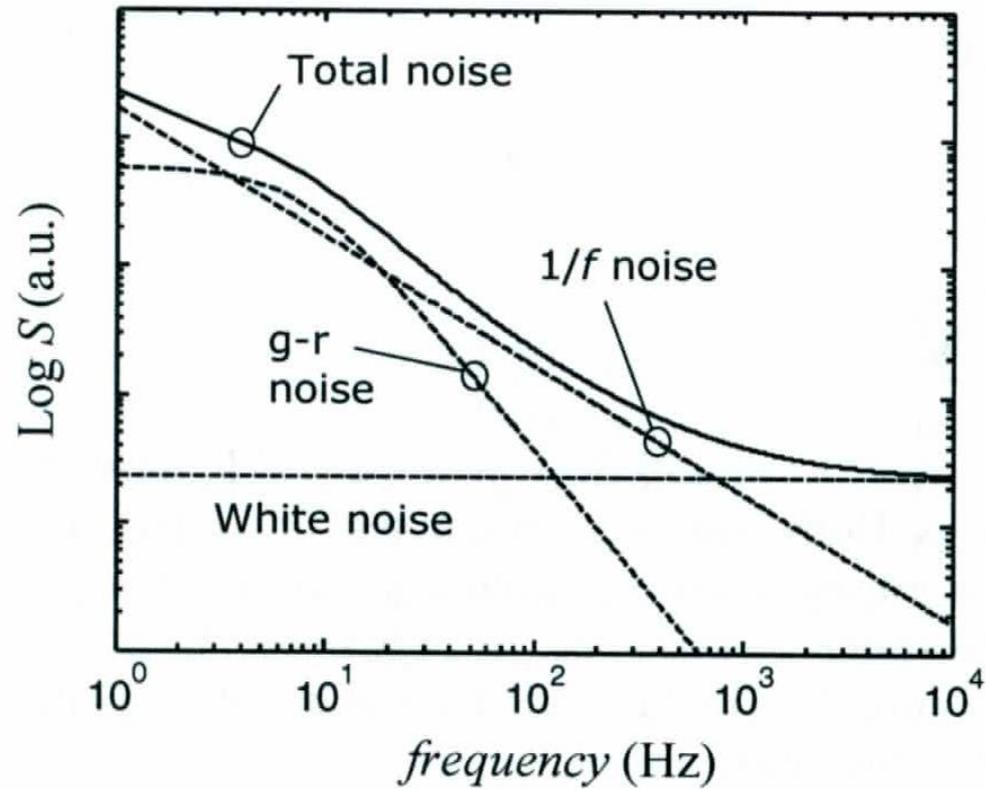
デバイスに発生する
ノイズの基礎含む

Electrical Noise Fluctuation



$$I(t) = \bar{I} + i_n(t)$$

Fundamental Noise Mechanisms



定義

Definitions

PSD (Power Spectral Density) } S_v, S_i
= Noise Spectral Density (NSD)

$$V_{n,rms} = \sqrt{\overline{V_n^2}} = \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} S_v df} \approx \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_n^2(t) dt}$$

$$T_n = \frac{\overline{V_n^2}}{4kR\Delta f} \quad (\Delta f = f_2 - f_1)$$

$$R_n = \frac{\overline{V_n^2}}{4kT_0\Delta f} \quad \left(\begin{array}{l} T_0 = 290K \\ h = 1.38 \times 10^{-23} [J/K] \end{array} \right)$$

Thermal Noise

(Nyquist, Johnson Noise)

$$S_I = \frac{4kT}{R}, \quad S_V = 4kTR$$

Noise Power

$$P_n = \frac{\overline{v_n^2}}{4R} = kT \Delta f \text{ [W]}$$

Shot Noise

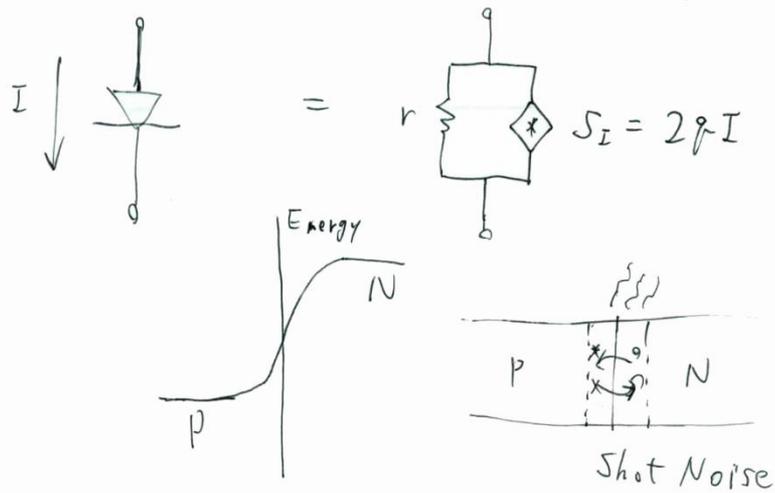
$$S_I = 2 \cdot q \cdot I$$

Ex. Diode's Shot Noise

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{qV_D}{kT}} - 1 \right)$$

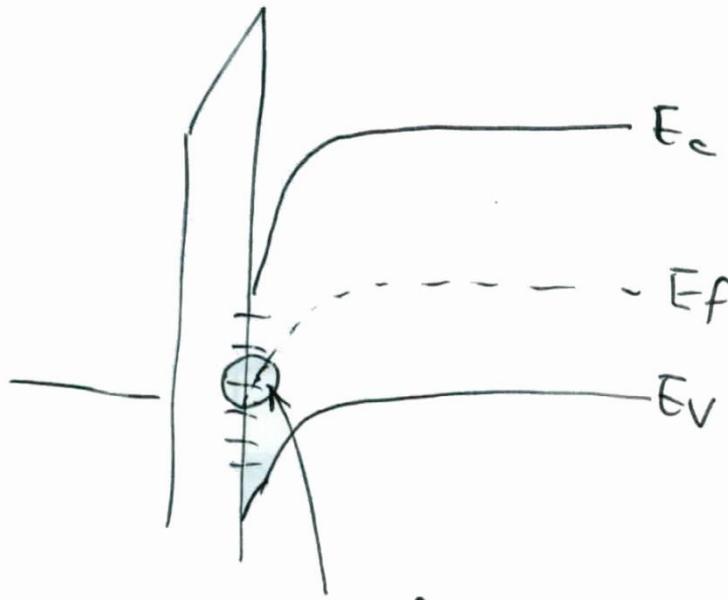
$$S_I = 2 \cdot q \cdot I_S \cdot e^{\frac{qV_D}{kT}} + 2qI_S = 4qI_D //$$

(Forward) (Back)



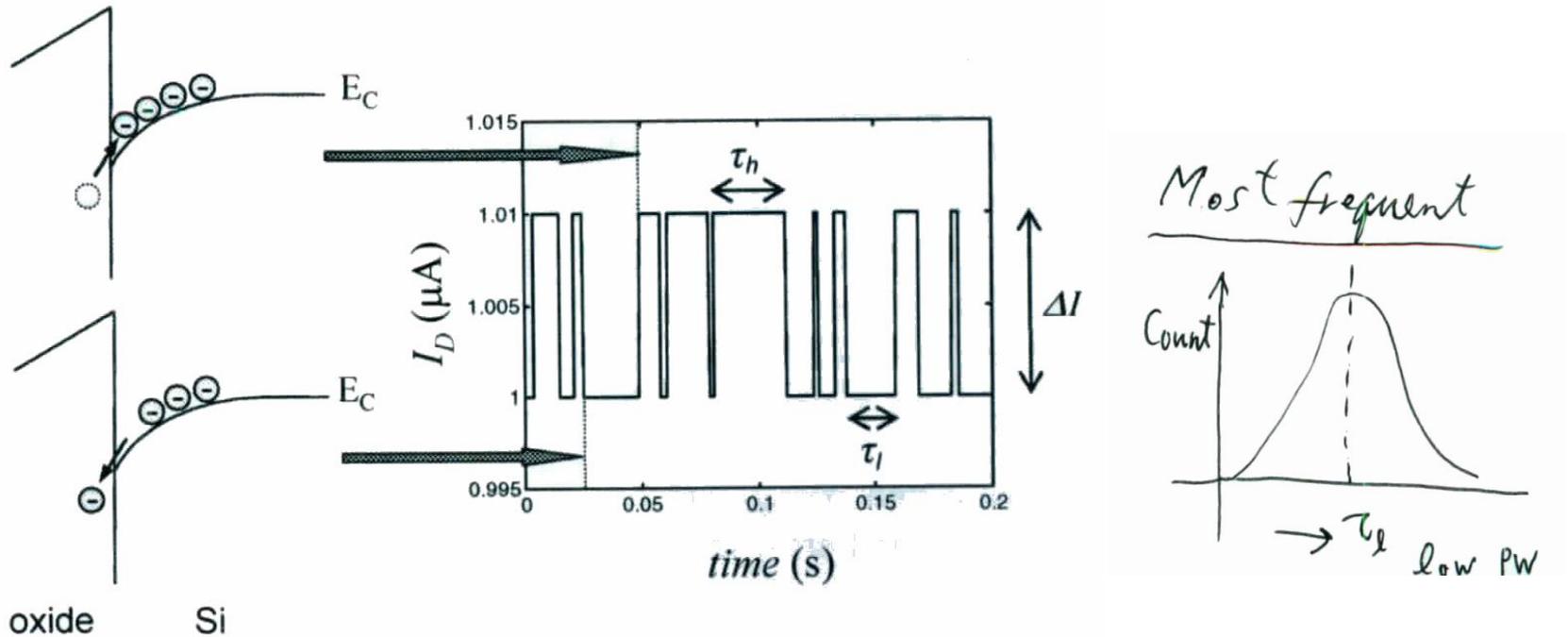
Generation-recombination Noise

1.1



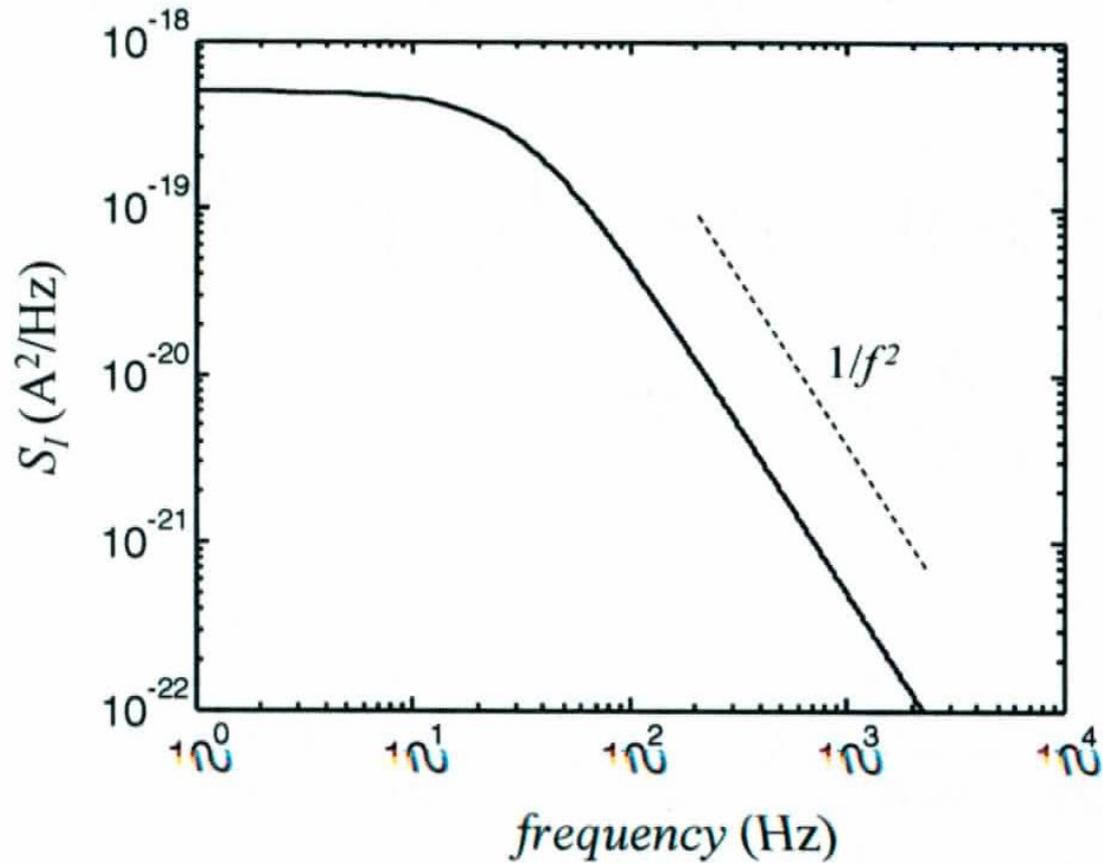
Only significant at this level!!

Random-Telegraph-Signal Noise

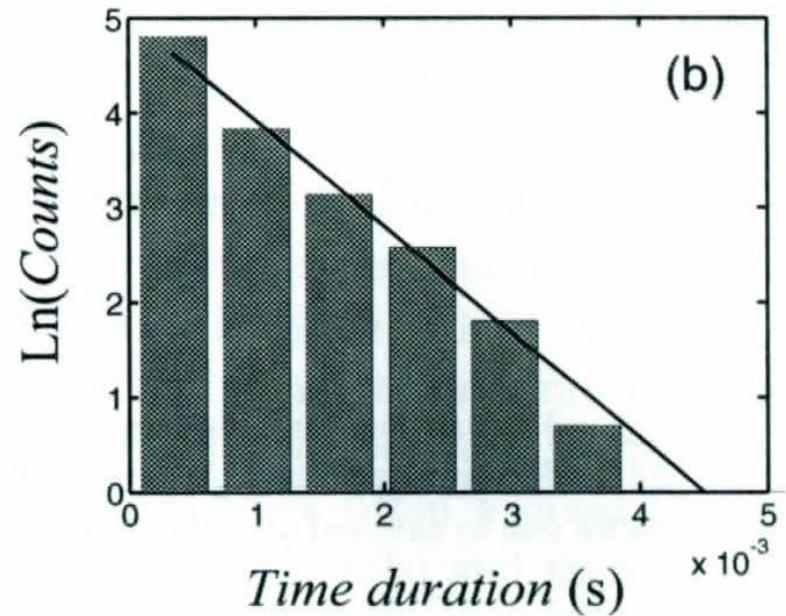
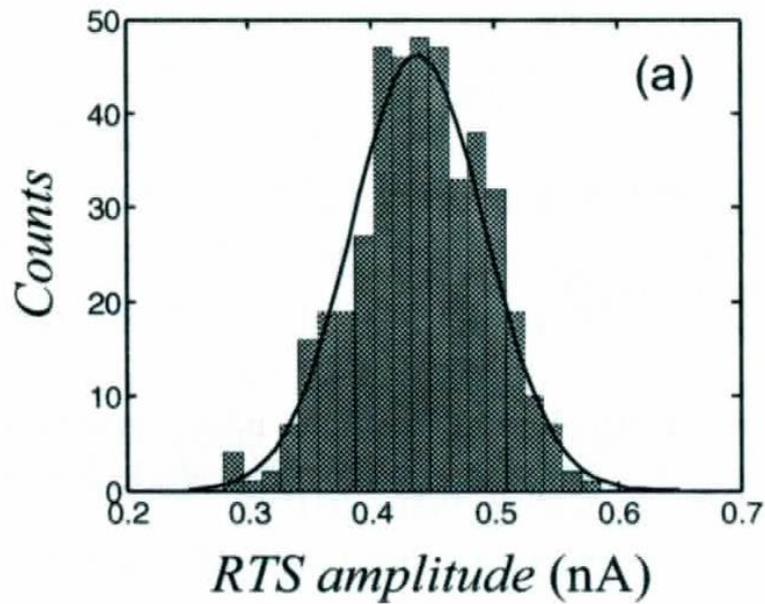


$$S_I(f) = \frac{4(\Delta I)^2}{(\tau_l + \tau_h) \left[\left(\frac{1}{\tau_l} + \frac{1}{\tau_h} \right)^2 + (2\pi f)^2 \right]}$$

RTS Noise Characterization



PDF of RTS Noise

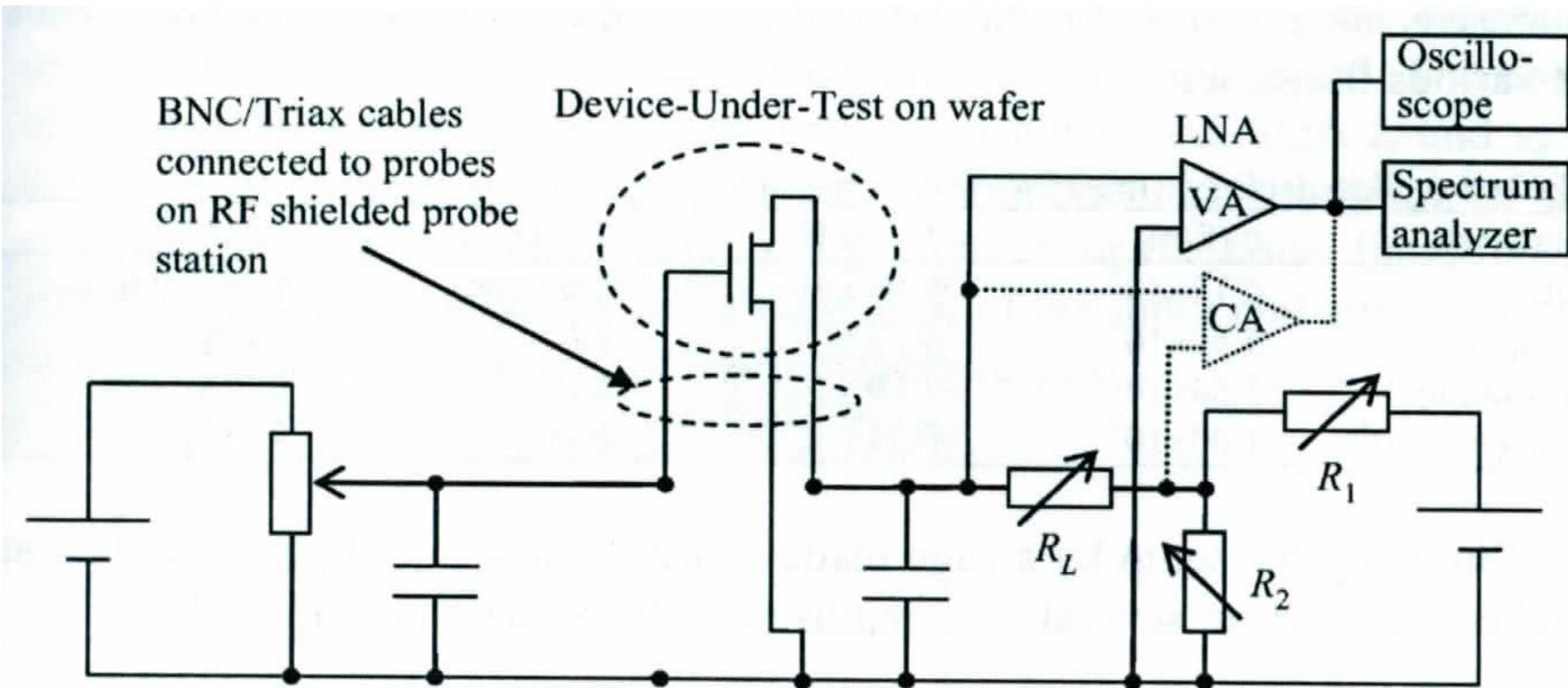


$1/f$ Noise

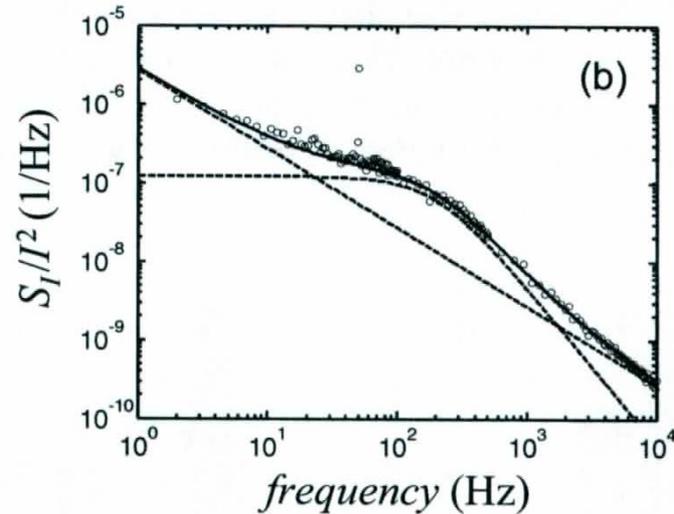
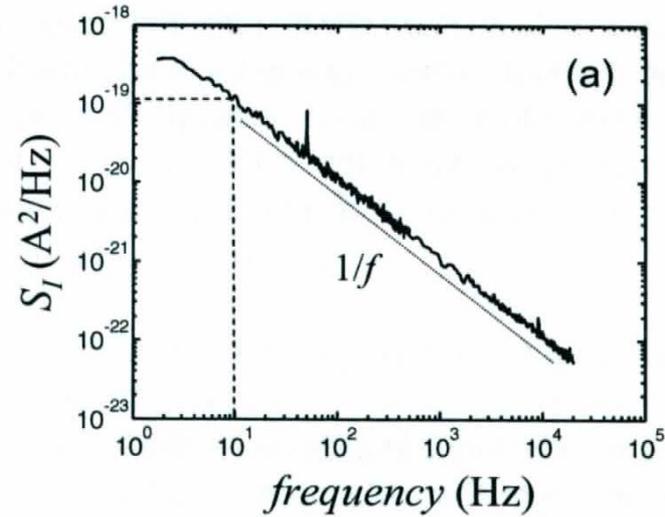
(= Flicker Noise)

$$S_I = \frac{K_f \cdot I^{A_f}}{f^{E_f}}$$

1/f Noise Measurement Circuit Diagram



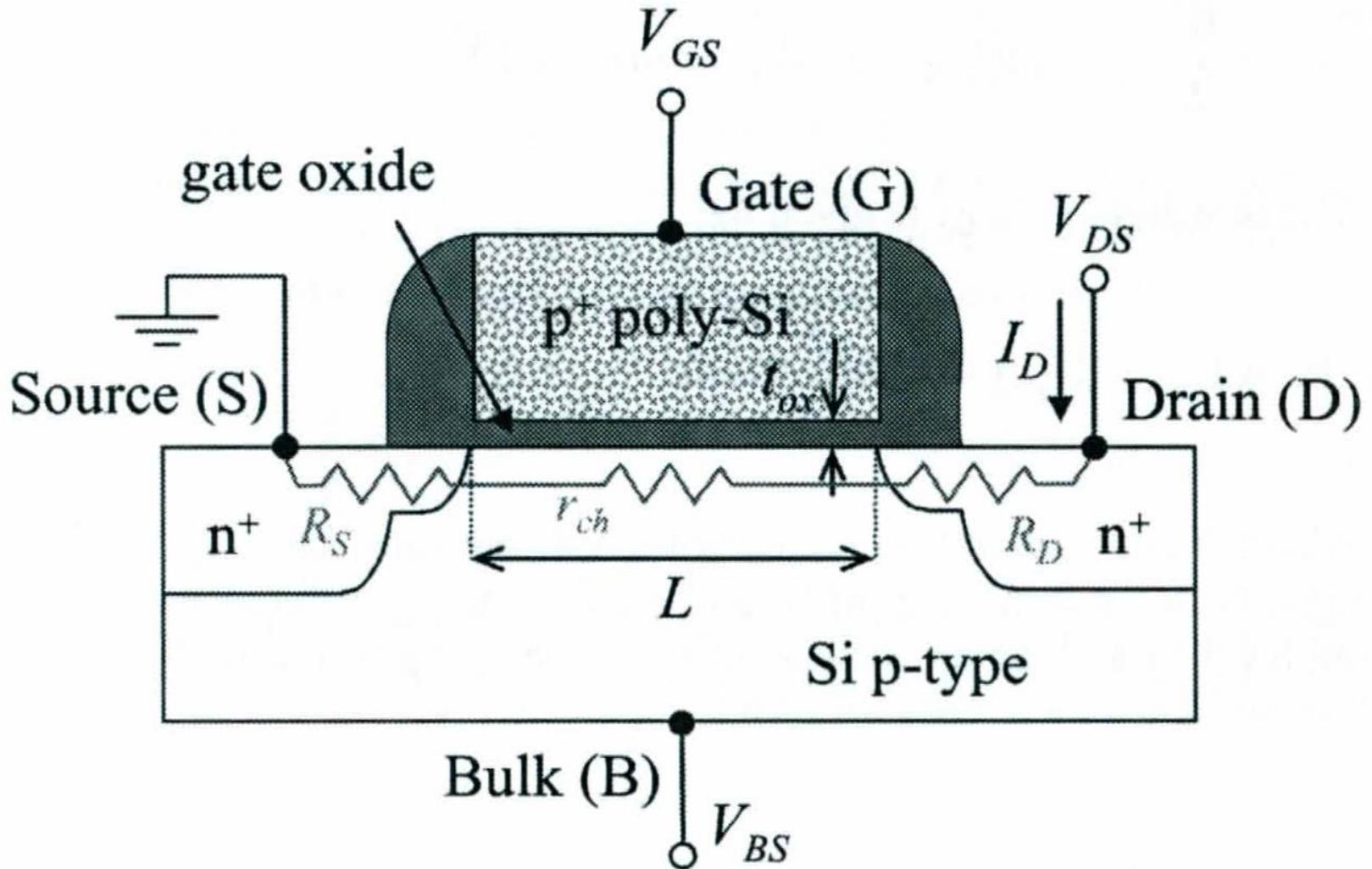
Noise Measurement Results



MOSFETのノイズ

- 熱雑音 (Thermal Noise)
- $1/f$ ノイズ (Flicker Noise)
- ランダム・テレグラフ・ノイズ

Typical MOSFET Structure

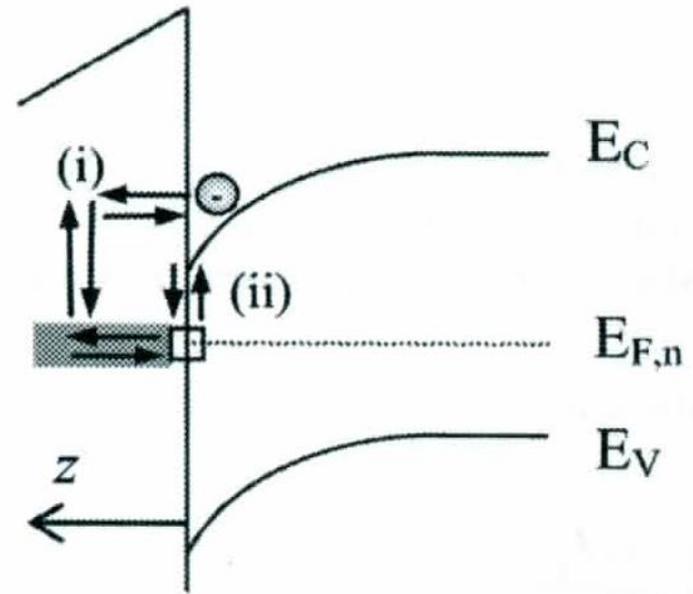
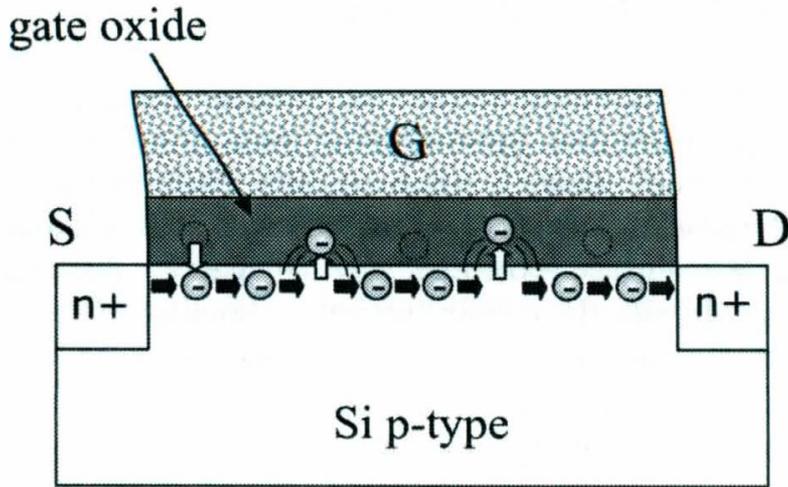


MOSFETの主な $1/f$ ノイズ発生源

- エネルギー準位の変動 (Number Fluctuation)
- 移動度変動 (Mobility Fluctuation)
- それらに付随した要因
- その他 ← 不明

MOSFET Channel Traps

McWortherのモデル



$$S_{I_D} = S_{V_{fb}} \left(1 + \frac{\alpha \mu_{eff} C_{ox} I_D}{g_m} \right)^2 g_m^2$$

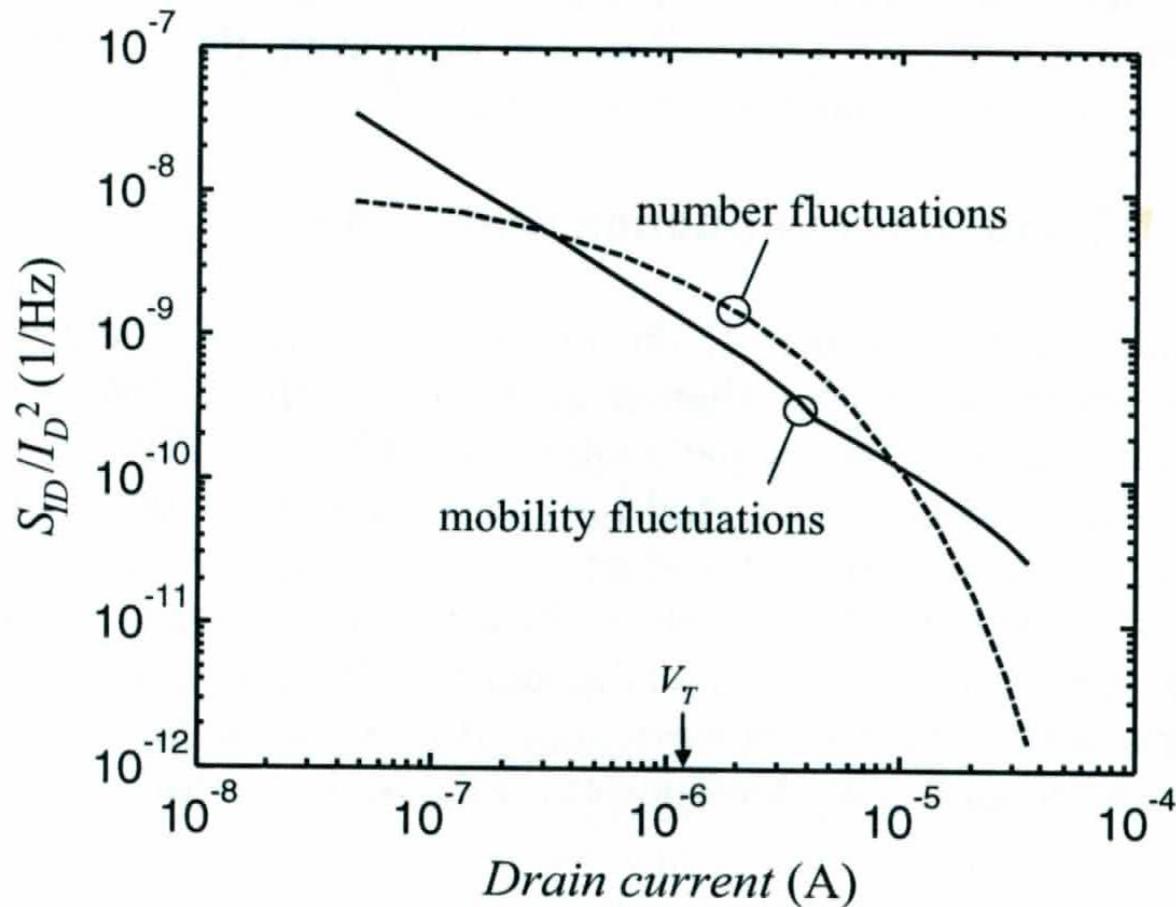
Mobility Fluctuations

Hoogeのモデル

$$S_{I_D} = \frac{\alpha_H \mu_{eff} 2 \cdot k \cdot T \cdot I_D}{fL^2}$$

$\alpha_H =$ Hooge's Constant

1/f Noise Source Simulations for MOSFET's



SPICE Models

SPICE2 Type Standard Model

$$S_{I_D} = \frac{KF \cdot I_D^{AF}}{C_{ox} \cdot L_{eff}^2 \cdot f^{EF}} \quad \text{or} \quad S_{I_D} = \frac{KF \cdot I_D^{AF}}{C_{ox} \cdot \underline{L_{eff} \cdot W_{eff}} \cdot f^{EF}}$$

Area

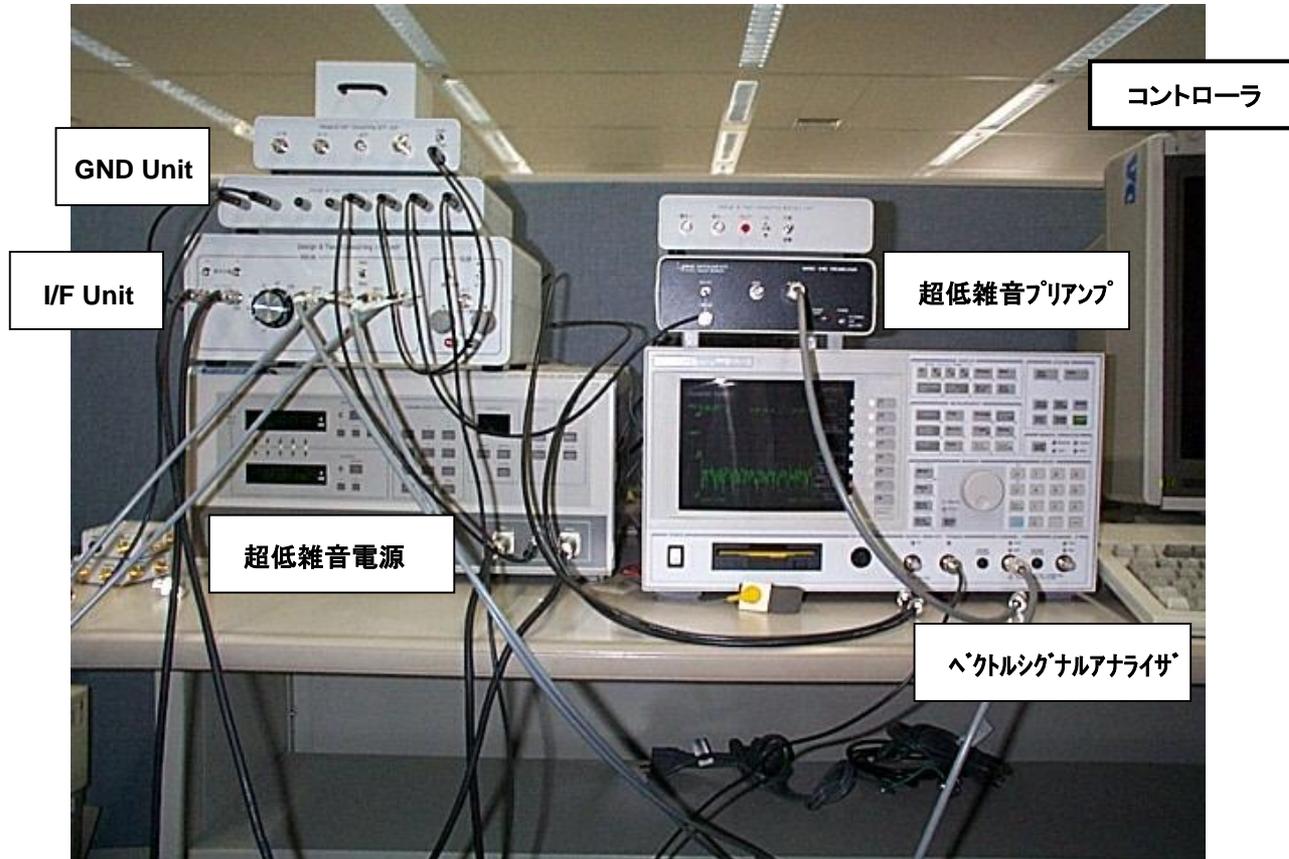
BSIM3, 4 Model

$$S_{id,inv}(f) = \frac{k_B T q^2 \mu_{eff} I_{ds}}{C_{oxe} (L_{eff} - 2 \cdot LINTNOI)^2 A_{bulk} f^{ef} \cdot 10^{10}} \left(NOIA \cdot \log \left(\frac{N_0 + N^*}{N_l + N^*} \right) + NOIB \cdot (N_0 - N_l) + \frac{NOIC}{2} (N_0^2 - N_l^2) \right) \\ + \frac{k_B T I_{ds}^2 \Delta L_{clm}}{W_{eff} \cdot (L_{eff} - 2 \cdot LINTNOI)^2 f^{ef} \cdot 10^{10}} \cdot \frac{NOIA + NOIB \cdot N_l + NOIC \cdot N_l^2}{(N_l + N^*)^2}$$

1/f ノイズ測定・モデリングシステム

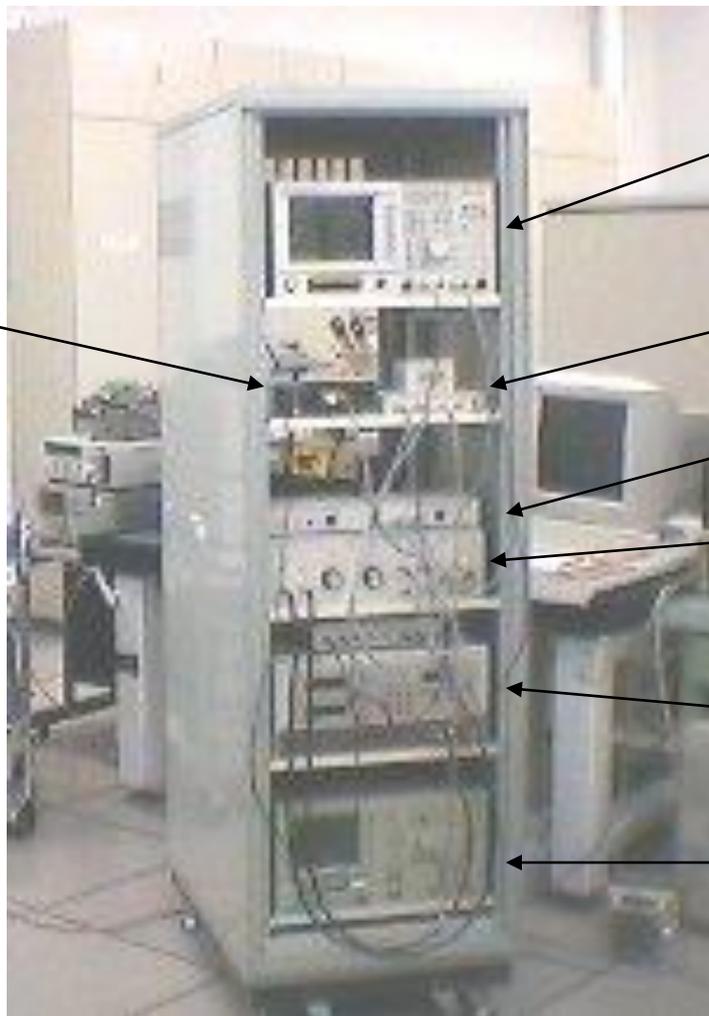
- 安定した低システムノイズ (-178.4dBv@1KHz, 1.2nv/sqrt(Hz)@1KHz)
 - 雑音スペックされた低雑音電源、超低雑音プリアンプの採用
 - 低システムノイズのベクトルシグナルアナライザの採用
 - 超低雑音ノイズフィルタの開発
 - 発振抑制回路、バイアスアダプタの開発
 - 半パラとGNDレベルでの切り離し
- 外来ノイズ、設置環境に強い測定系
 - 強力にシールドされた I/Fユニットの開発
 - 独立したGNDユニットの開発
 - 2重シールドケーブルの採用

1/f ノイズ測定・モデリングシステム(卓上型)



1/f ノイズ測定・モデリングシステム(ラック型)

超低雑音プリアンプ



89410A

Fixture Unit

GND Unit

I/F Unit

低雑音電源

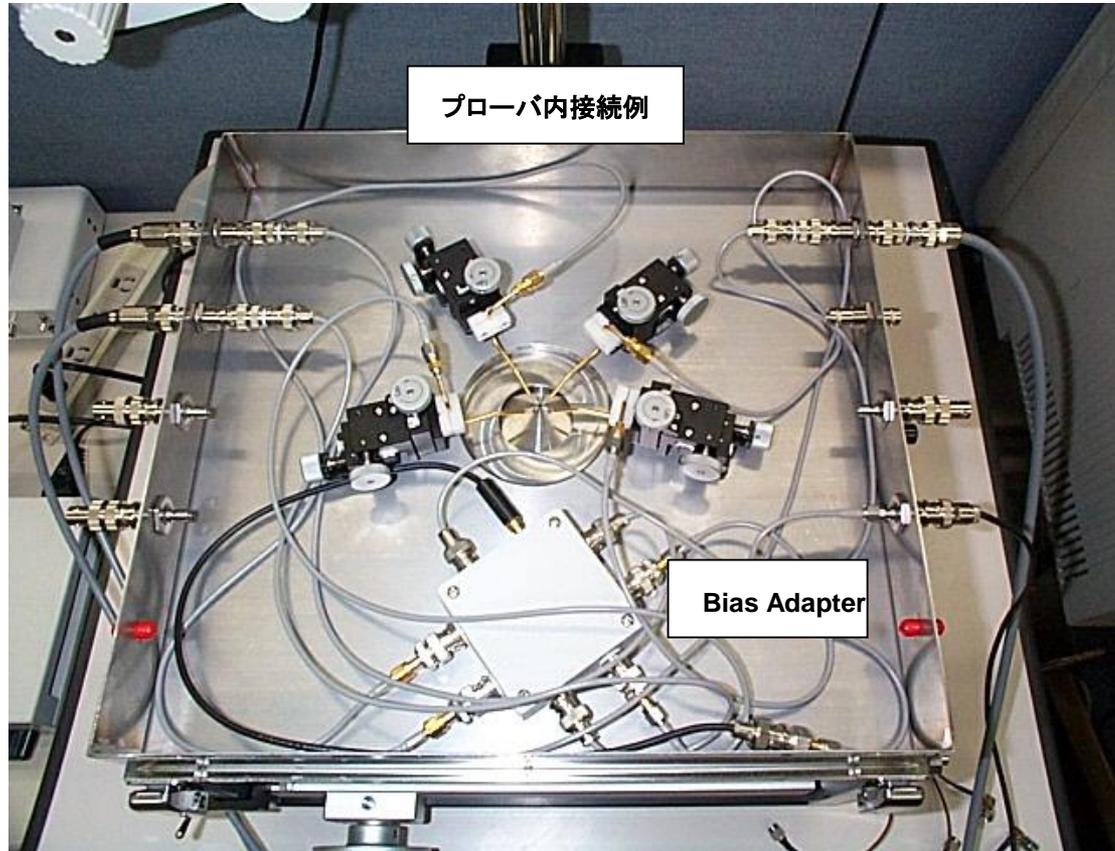
半パラ(4145B)

ノイズシールド型プローバ構築(例)

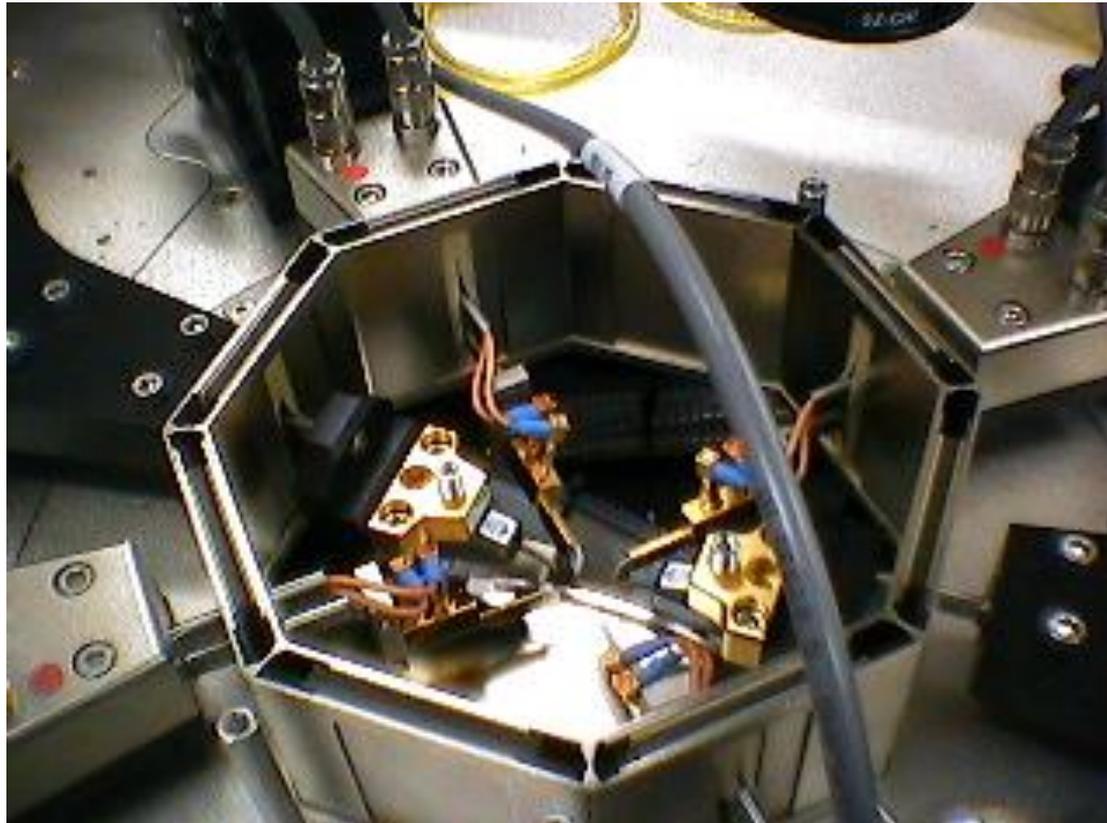


提供:雄山商事(株)

DCプローブ対応型(例)



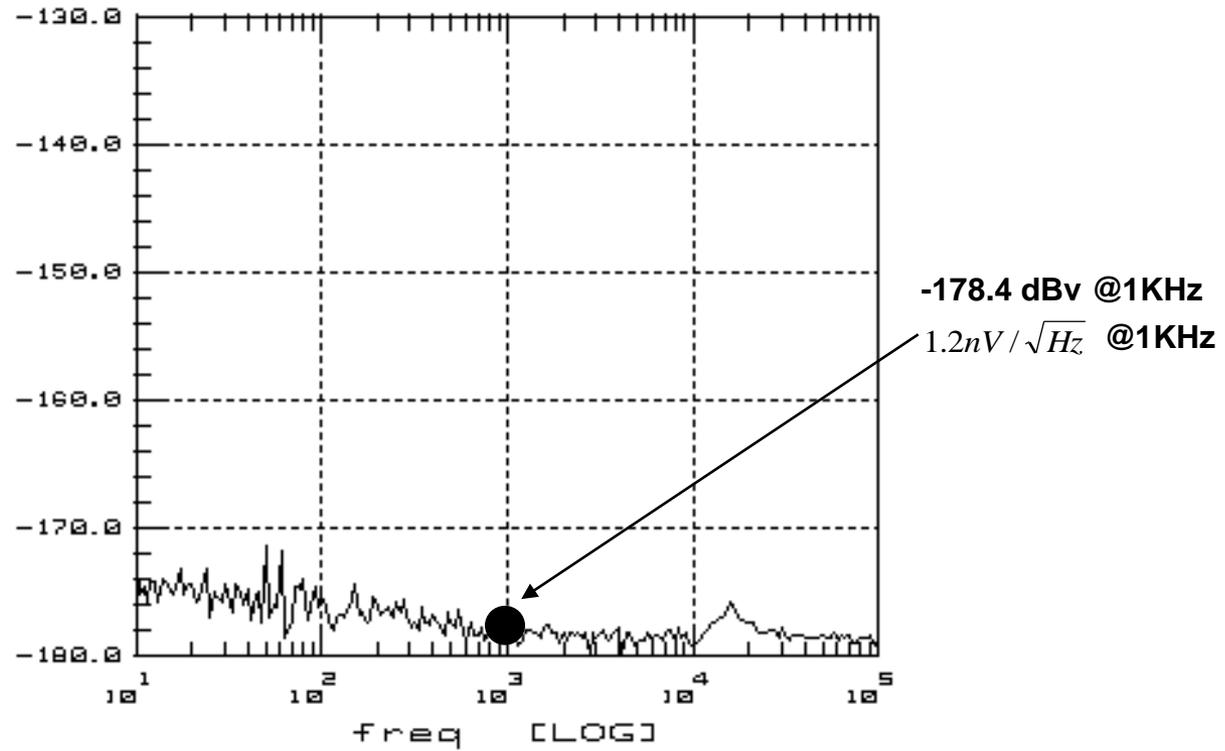
GSGプローブ対応型(例)



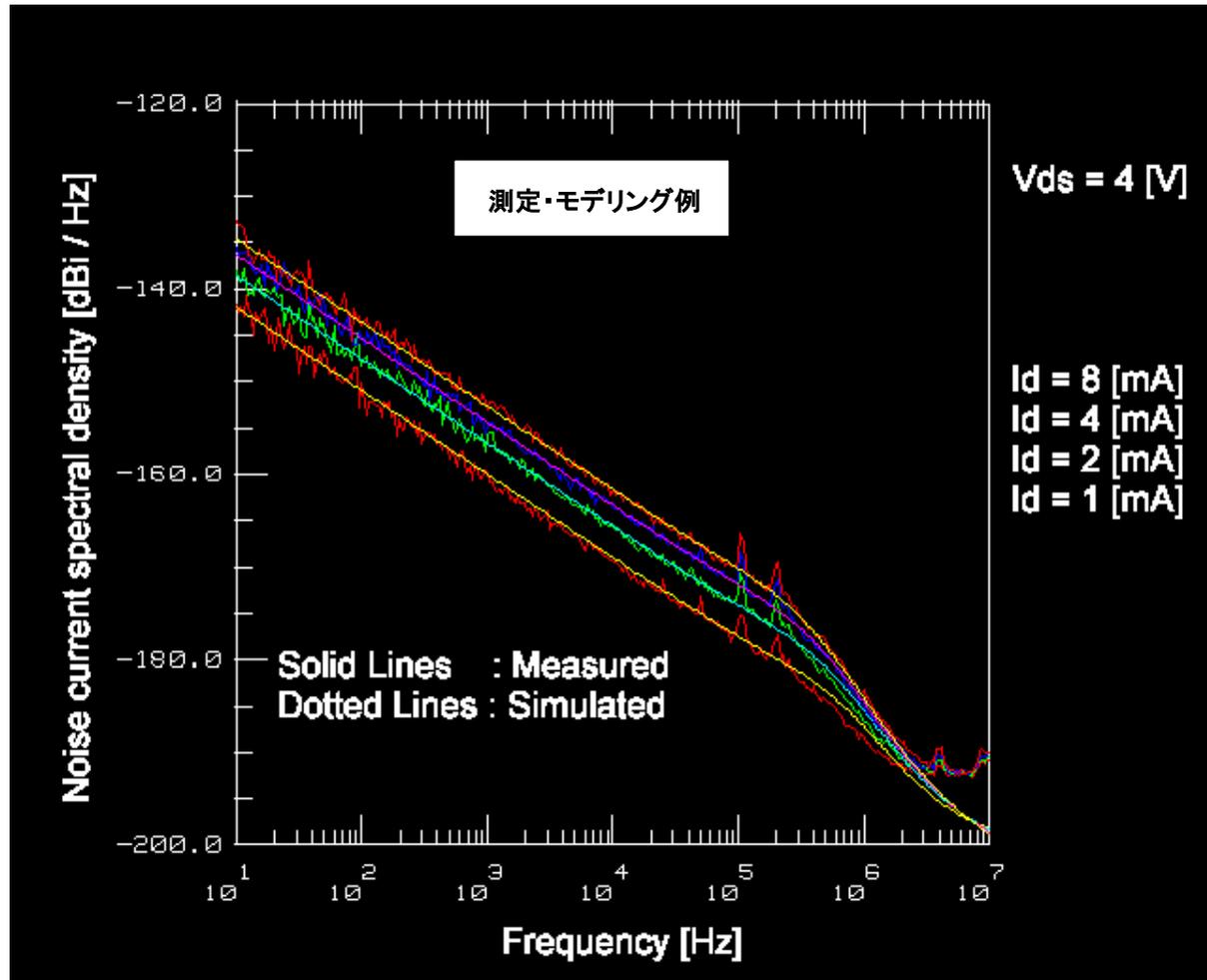
パッケージデバイス測定治具



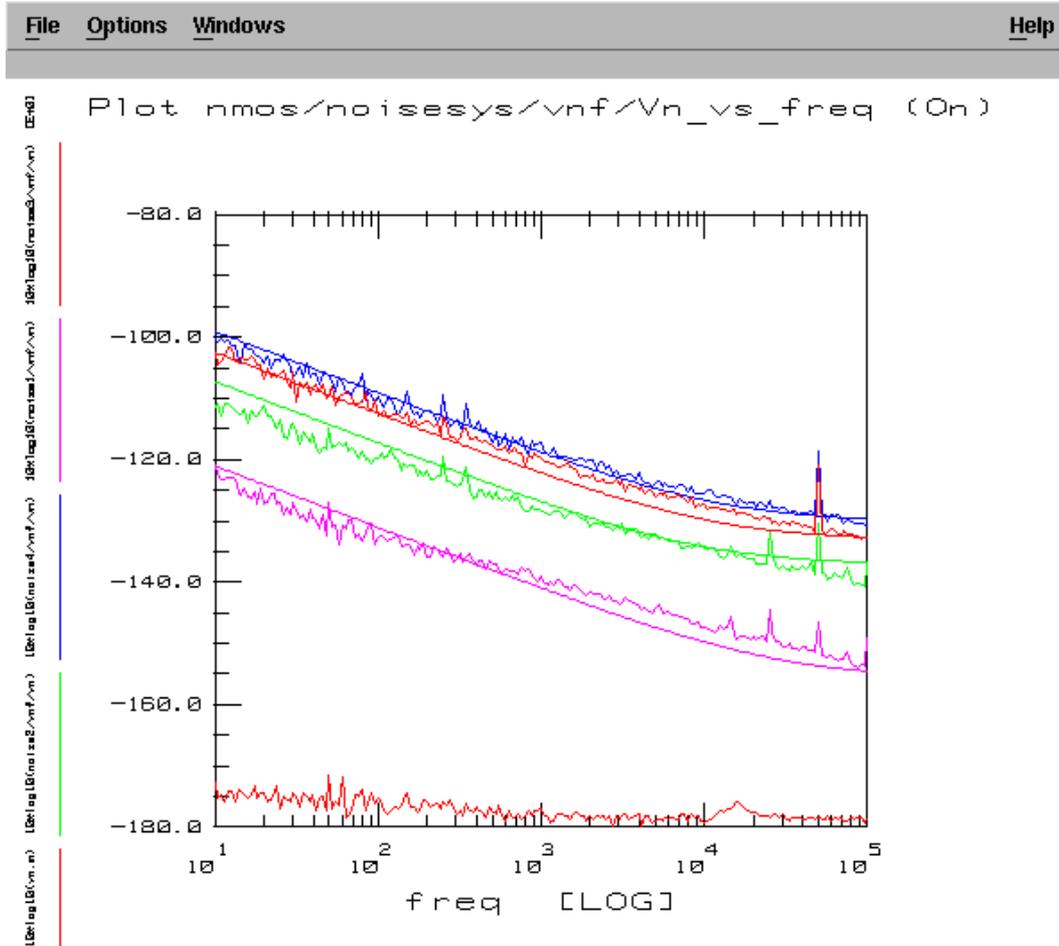
システムノイズレベル



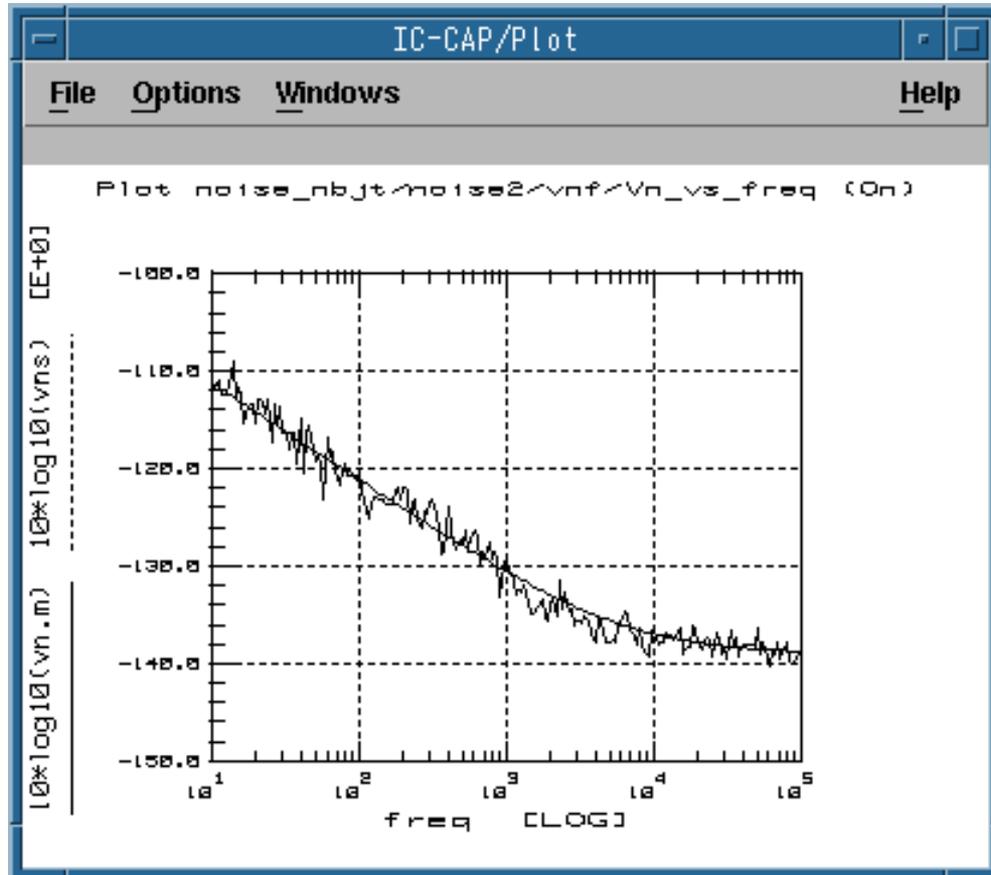
MOSFETモデリング例



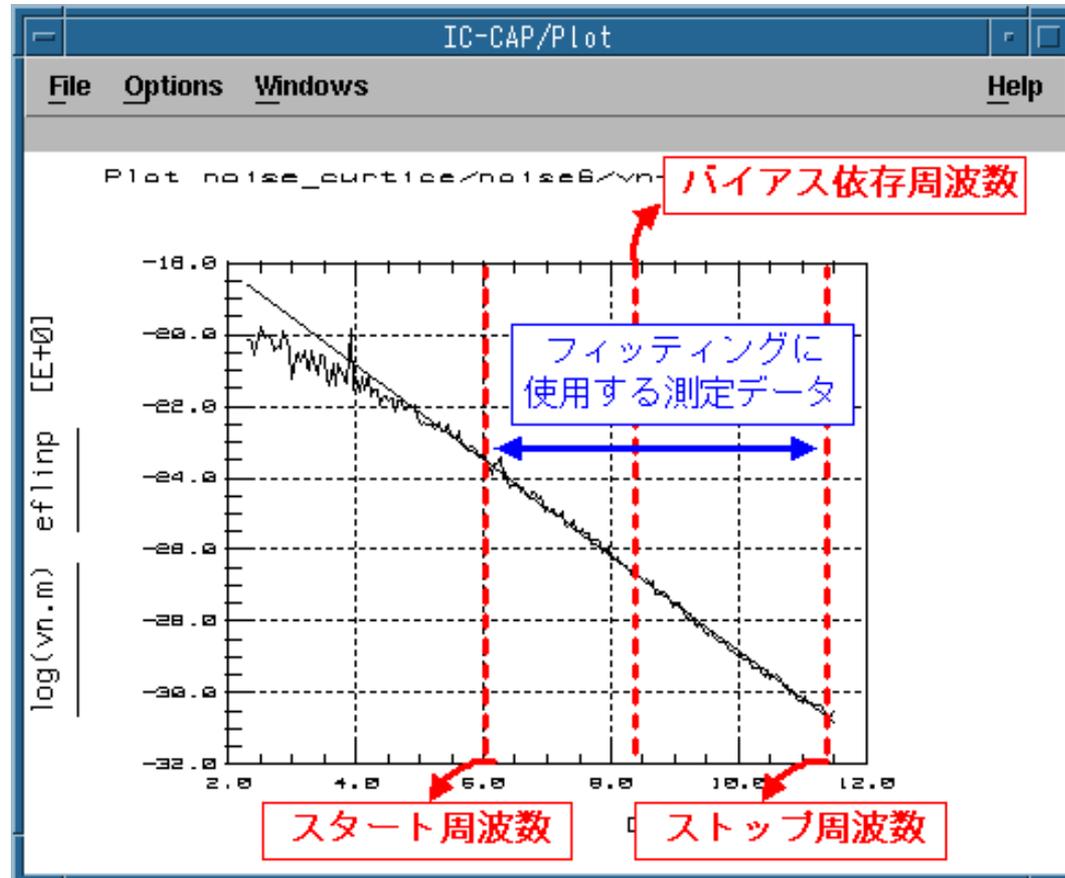
DMOSモデリング例



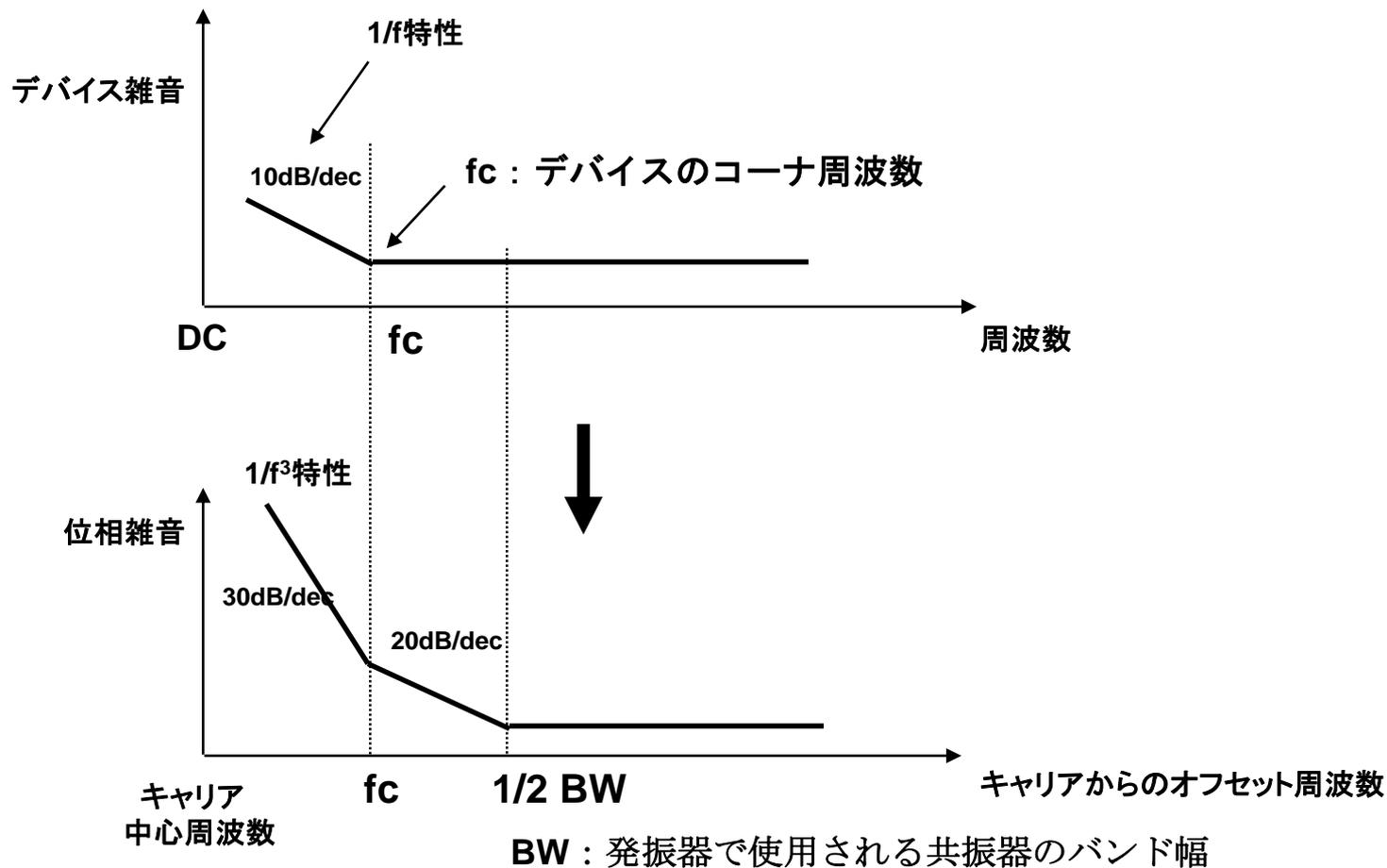
BJTモデリング例



MESFETモデリング例



1/f雑音と位相雑音の関係



位相雑音解析手法

- 位相雑音解析手法

- ◆ Leeson 発振器モデル(古くから使われてる一般的なモデル)

- LTV (Linear Time Variant) 法

- Ali Hajimiri, “A General Theory of Phase Noise in Electrical Oscillators,”
IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 33, no. 2, pp. 179-194, 1998.

- LTV法の特徴

- ◆ アナログ及びデジタル発振器の両方について解析可能

- ◆ 半経験的なフィッティングパラメータを使わずに、全て理論的に解析可能

- ◆ 市販のSPICEにより解析可能

負性抵抗型RF発振器解析例

