

# HCl Gettering Oxidation을 利用한 BJT의 低雜音化에 關한 實驗的 研究

(An Experimental Study on the Low Noise Property of the Bipolar Junction Transistor Fabricated by HCl Gettering)

崔 世 崑\*, 徐 熙 敦\*\*

(Se Gon Choi and Hee Don Seo)

## 要 約

本 論文에서는 低雜音 BJT를 만들기 위하여 HCl gettering oxidation 方法을 適用하였다.

HCl 量의 變化에 따른 플리커 雜音 spectral intensity의 變化를 測定한 結果 BJT의 플리커 雜音이 表面 狀態에 依存하고 있음과 低雜音 BJT를 만들기 위한 oxidation 工程의 gettering 條件은 HCl 量이 2 %일 때 最適임을 알 수 있었다.

또 에미터 廣散 工程에서 形成된 PSG層의 gettering 効果는 HCl gettering 効果에 比해 微弱함도 알게 되었다.

## Abstract

In this paper, the authors applied the method of hydrogen chloride gettering oxidation to fabricate the low noise bipolar transistor.

The results of measurements of the effect of gettering on the variation of flicker noise spectral intensity for variable HCl concentrations indicate that flicker noise in bipolar transistor is dependent on the surface condition and that the gettering in a mixture of 2% HCl in oxidation produced the optimal results in the fabrication of the low noise device.

In addition, it was also noted that the PSG layer formed by the emitter source (phosphorus) did not have so much gettering effect as in the process with HCl gettering.

## I. 序 論

一般的으로 低雜音 素子란 flicker 雜音의 影響을 最小로 줄인 素子를 意味하므로 本 研究에서는 flicker

雜音을 줄이기 위한 方案으로 주로 MOSFET 製造 工程에서 實施하고 있는 gettering oxidation을 bipolar transistor에 適用하여 低雜音 素子를 만들기 위한 最適 條件을 實驗的으로 考察하였다.

Flicker 雜音에 對한 여러 理論<sup>[1-4]</sup>을 綜合해 보면 發生 雜音源이 半導體에서 일어나는 carrier의 生成 - 再結合(generation-recombination) 現象과 捕獲 - 放出(capture-emission)過程에서 random process에 수반되는 carrier density 脈動에 基因한 g-r noise source로 集約할 수 있다.

특히 bipolar transistor의 flicker 雜音은 表面處理에 依한 依存性이 크므로 그림 1과 같이 Mc Whorter<sup>[5]</sup>

\*正會員, 嶺南大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Yeung Nam Univ.)

\*\*正會員, 嶺南工業專門大學 電子科

(Dept. of Electronics Eng., Yeung Nam Junior College)

接受日字 : 1983年 7月 26日

의 "Surface Tunneling Model"에 의하여 說明되고 있다.

이 model에 의하면 半導體(Si) - 酸化層( $\text{SiO}_2$ ) interface 構造에서 半導體側의 表面부근에 存在하는 carrier가 tunnel 効果에 依해 酸化層內에 넓은 時定數 distribution를 가진 energy level에 trapping 되므로써 表面電荷密度 狀態의 脈動이 일어나 flicker 雜音이 發生한다는 것이다. 즉 表面狀態의 脈動電荷에 依한 base 電流( $I_B$ )의 表面 potential 依存成分  $I_{B1}$ ,  $I_{B2}$  및  $I_{B3}$ 가 變動하게 되므로 式(1)과 같은 base 電流 脈動( $i_B$ )의 power spectrum( $S_{iB}$ )가 나타나게 된다.

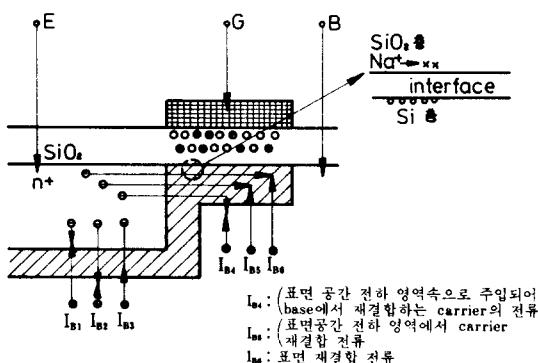


그림 1. Gate-control한 NPN TR의 에미터와 베이스 접합

Fig. 1. Emitter-base junction of a gate-controlled n-p-n TR.

$$S_{iB}(f) = \left( \frac{dI_B}{dU_G} \right)^2 \left( \frac{q}{C_{ox}} \right)^2 \frac{n_t F_c k T}{8 \pi a f} \quad (1)$$

$U_G$ : Gate 電荷

$q$  : 電荷의 크기

$T$  : 絶對 温度

$n_t$  : 体積單位當 酸化層 内部狀態 密度

$a$  : 電流 傳送率

$F_c$  : Gate 電極의 面積

$k$  : Boltzmann 常數

$C_{ox}$  : Gate 電極아래 酸化層의 캐페시턴스

그리므로 本 論文에서는 酸化膜( $\text{SiO}_2$  膜)을 形成시킬 때 HCl을 一定量 흘려 주어 gettering 作用<sup>[6, 7]</sup> 즉 Si-SiO<sub>2</sub> interface에 있는 여러가지 charges의 影響을 줄이고 接合(junction) 空乏層의 leakage 電流를 줄이며 表面 가까이 存在하는 실리콘 bulk 内의 重金属屬(heavy metals)을 除去하므로 小數 carrier의壽命을 向上시킬 뿐 아니라  $\text{SiO}_2$ 膜內에 있는 陽 ion(al-

kali ion)을 中和시키는 效果를 利用하여 表面狀態를 改善시킨 素子를 製作하였고, 이 素子의 flicker 雜音을 測定하여 flicker 雜音의 表面依存性을 調査하였다. 또 HCl 量을 0 %부터 4 %까지 變化시키고 이에 따른 flicker 雜音의 輕減狀態를 觀察하여 低雜音 素子를 만들기 위한 HCl gettering의 最適條件도 檢討하였다.

## II. 試料 製作

표 1은 試料 製作의 gettering 條件을 나타낸 것이다.

여기서 HCl의 量(%)은 wet-oxidation을 할 때 每分 供給하는 산소( $O_2$ )量에 對한 HCl의 一定比率을 나타낸 것이다.

표 1. 試料의 製作條件

Table 1. Fabrication condition of samples.

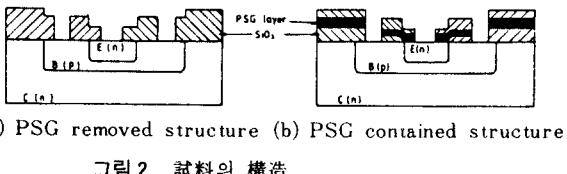
HCl		0 % (0)	1 % (30cc/min)	2 % (60cc/min)	3 % (90cc/min)	4 % (120cc/min)
PSG layer		A - 0	A - 1	A - 2	A - 3	A - 4
A group	有	A - 0	A - 1	A - 2	A - 3	A - 4
B group	無	B - 0	B - 1	B - 2	B - 3	B - 4

## 표 2. 工程別 製作 條件

Table 2. Condition of fabrication.

Process	Method	Tem- perature	Time (min)	Remarks
1. Oxidation	$O_2 + \text{Steam} + (HCl)$ Wet-Oxidation	1100°C	198	HCl를 0%~4 %까지 구분작업(두께 7200Å)
2. Base Predeposition	$N_2 + Bo$	910°C	91	
3. Base Drive-in	$O_2 + \text{Steam} + N_2 + (HCl)$	1100°C	281	HCl를 0%~4 %까지 구분작업( $\text{SiO}_2$ 중 형성)
4. Emitter Diffusion	$O_2 + \text{Steam} + N_2 + \text{Phosphorus}$	1070°C	28	(PSG Layer가 형성)
5. PSG Layer Removal	$1:10 = HF : H_2O$		12 Sec	Etching:B Group 만)
6. Emitter Oxidation	$O_2 + N_2 + \text{Steam} + (HCl)$	900°C	96	HCl를 0%~4 %까지 구분작업
7. Sintering		465°C	60	
8. Al Alloy	$N_2 + N_2$	465°C	35	
9. Au Alloy	$N_2$	350°C	30	

試料는 표 2 의 工程 4에서 emitter diffusion source ( $\text{POCl}_3$ )로 因해 形成된 PSG(phospho-silica glass) 層을 除去하지 않은 것(A-group)과 除去한 것(B-group)으로 區分 製作하였다(그림 2 參照).



(a) PSG removed structure (b) PSG contained structure

그림 2. 試料의 構造

Fig. 2. Structure of sample device.

Starting material은 N形 半導體로서 結晶面이 (111)이고, 比抵抗( $\rho$ )이  $5 \Omega\text{-cm}$ , 두께가  $15 \mu\text{m}$ 인 것을 使用하였다. 또 gettering 效果를 檢討하기 위한 HCl量變化는 HCl이 부식성이 강하여 그量이 5 ~ 6% 이상이 되면 silicon 内部에 投入하여 副作用을 일으키기 때문에<sup>[1]</sup> 4%까지 制限하였다.

試料 製作을 위한 製造工程을 계략적으로 나타내면 표 2 와 같다.

### III. 測 定

試料에 對한 測定은 表面處理에 依한 filcker 雜音의 影響을 알아보기 위한 것으로, TR의 base와 collector 端子를 短絡시켜서 base와 emitter 端子를 diode로 使用하여 逆方向 bias에서 低周波 雜音을 測定하였다.

P-N 接合을 흐르는 逆電流는 逆 bias에 關係없이 breakdown 電壓까지는 一定하지만 不安定한 表面狀態를 가질 경우 表面電荷의 變化에 依한 電流成分과 漏洩電流成分으로 因하여 逆電流가 增加하므로 低周波 領域에서 filcker 雜音이 測定된다.

測定方法으로는 低周波 測定에 적합하고 보통 測定

器로 測定이 容易한 正弦波 發生器(sine wave generator)<sup>[10]</sup>를 使用하였다.

이 方法은 增幅器 出力에 對한 rms 雜音電壓을 測定하고 별도로 正弦波를 引加하여 電壓利得을 測定하여 出力電壓을 利得으로 나누어 주므로 等價入力電壓을 구하는 方法이다.

測定 系統圖는 그림 3 과 같이 構成하였다. 모든 測定은 shield room에서 行하였고 特히 前置 增幅器, 主 增幅器 및 雜音 檢出裝置는 aluminum shielding box 속에 놓았다.

使用한 減衰器의 減衰比는  $1.72 \times 10^{-6}$  이고 시스템의 全体 增幅率은  $2.8 \times 10^7$  이다. 雜音電壓은 脈動電壓이므로 直流電壓計로 測定하기 위하여 multiplier를 使用하여 세곱을 시키고 平均回路를 multiplier 出力段에 構成하여 自乘平均值을 求하였다.

#### 1. 實効雜音 帶域幅( $\Delta f$ ) 測定

雜音帶域幅은 信號帶域幅(3dB)과 같지 않고 그림 4와 같이 電壓利得 對 周波數 特性曲線에서 曲線이 이루는 面積과 같은 面積의 直四角形 模形이 周波數 거리로 表現된다.<sup>[10]</sup>

또 이것은 式(2)와 같이 定義된다.

$$\Delta f = \frac{1}{A_{v0}^2} \int_0^\infty A_v^2(f) df \quad (2)$$

단  $A_{v0}$ : 中心 周波數 利得,  $A_v(f)$ : 각 周波數 利得

여기서 單位周波數에 對한 filcker 雜音의 spectra 密度를 測定하기 위하여 雜音帶域幅을 測定해야 하는데 그 方法으로 測定에 使用한 各 中心周波數에 對한 面積을 式(2)로 구할 수 있지만 本 實驗에서는 雜音數 抵抗을 利用하여 다음과 같이 간편하게 實効雜音帶域幅을 구하였고<sup>[11]</sup> 그 結果는 표 3 과 같다.(표 3의 中心周波數 1KHz에서 두 方법으로 구한 値의 差異가 5% 以內임) 먼저 그림 3에서 TR 試驗回路를 일단 除去하고 前置增幅器 input을 短絡시켜 시스템 雜音  $M_1$ 을 測

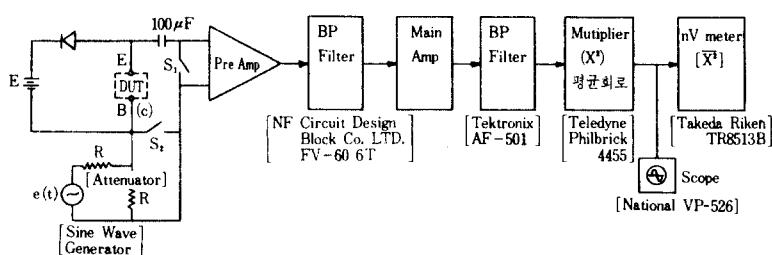


그림 3. 플리커 雜音 測定回路

Fig. 3. Flicker noise measuring circuit.

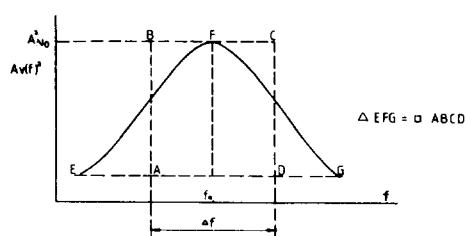


그림 4. 雜音 帶域幅의 定義

Fig. 4. Definition of noise bandwidth.

定하고, 다음 入力에 抵抗( $R_s$ )를 連結하여 出力雜音電壓  $M_2$ 를 測定하면 式(3)과 같다.

$$M_2 = 4k T R_s A_v^2 \Delta f + M_1 \quad (3)$$

$$\begin{cases} k : \text{Boltzmann 常數} \\ T : \text{絕對 温度} \\ R_s : \text{雜音源 抵抗} \end{cases}$$

그다음 flicker 雜音 spectra를 測定한 各 中心 周波數와 같은 周波數를 引加하여 正弦波의 電壓利得의 自乘 平均值와 시스템 雜音인  $M_1$ , を 測定하였다.

$$M_3 = [\gamma e(t)]^2 A_v^2 + M_1 \quad (4)$$

$\gamma$  : 減衰器 比率

$e(t)$  : 正弦波 發生器 出力

式(3)을 式(4)로 나누어 그값을  $\alpha$ 라 하면 式(5)와 같다.

$$\frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1} = \frac{4k T R_s \Delta f}{[\gamma e(t)]^2} = \alpha \quad (5)$$

이 式에서 實效雜音帶域幅( $\Delta f$ )를 구하면

### 五 3. 實效雜音 帶域帶의 測定値

Table 3. Measuring results of effective noise bandwidth.

No.	Frequency Range of BPF		Center Frequency $f_0$ (Hz)	Noise Bandwidth $\Delta f$ (Hz)	Remarks
	BPF(1) (Hz)	BPF(2) (Hz)			
1	50~150	Broad	100	28.0	
2	150~250	"	200	57.1	
3	350~450	"	400	77.9	
4	600~800	"	700	130.0	
5	800~1200	Narrow	1,000	83.0	식(2) 方法에 의 한 측정값 87.0Hz
6	1800~2200	"	2,000	116.0	
7	3900~4100	"	4,000	325.6	
8	6800~7200	"	7,000	549.4	
9	9000~11000	"	10,000	1055.6	

$$\Delta f = \frac{\gamma^2 E_i^2}{8kT R_s} \alpha [\text{Hz}] \quad (6)$$

단: 正弦波에서  $\overline{e(t)^2} = \frac{1}{2} E_i^2$

가 된다.

### 2. Flicker 雜音의 Spectrum 測定

Power Spectrum 分析은 100Hz에서 10KHz 까지 하였으며 spectral intensity 測定은 다음과 같이 하였다.

첫째, 그림 3에서 switch  $S_1$ 과  $S_2$ 를 短絡시키고 測定한 시스템 雜音을  $M_1$ , 라 한다.

둘째, switch  $S_2$ 를 短絡시킨채  $S_1$ 만 開放하여 試料의 雜音을 測定한 値을  $M_2$ , 라 하면

$$M_2 = S_v(f) A_v^2 \Delta f + M_1 \quad (7)$$

이 된다.

$$\begin{aligned} \text{단 } & [S_v(f) : \text{Flicker 雜音電壓의 spectral intensity}] \\ & [A_v : \text{全体 增幅率}] \\ & [\Delta f : \text{實效帶域幅}] \end{aligned}$$

그다음 switch  $S_1$ ,  $S_2$ 를 모두 開放하고 振幅  $E_i$ 인 正弦波를 減壞器를 통해 引加하여  $M_3$ , を 測定하였다.

$$M_3 = [\gamma e(t)]^2 A_v^2 + M_1 \quad (8)$$

여기서 等價入力雜音電壓을 구하기 위하여 出力雜音電壓을 正弦波의 電壓利得自乘 平均值로 나누면 그값이  $\beta$ 가 된다.

즉 式(7)과 (8)에서

$$\frac{S_v(f) \Delta f}{[\gamma e(t)]^2} = \frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1} = \beta \quad (9)$$

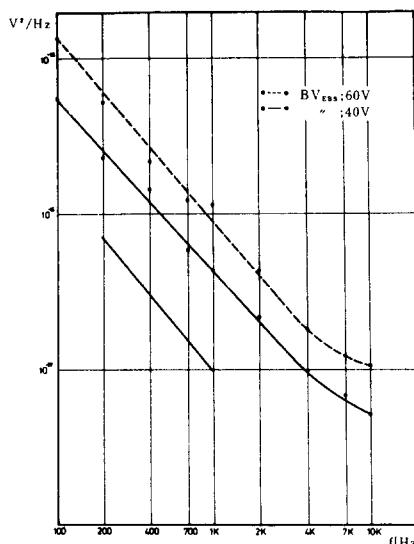


그림 5. 플리커 雜音 스펙트럼

Fig. 5. Flicker noise spectrum.

式(9)에서 單位 周波數에 對한 flicker 雜音電壓의 spectra 密度  $S_v(f)$  를 구하면

$$S_v(f) = \frac{E_t^2 \cdot \gamma^2}{2 \Delta f} \beta [V^2/Hz] \quad (10)$$

가 된다.

i) 方法은 長時間에 걸쳐 雜音測定하므로 增幅器의 bias 電壓이 減少됨에 따른 電壓利得의 變化에 의한 测定誤差를 줄일 수 있는 長點이 있다.

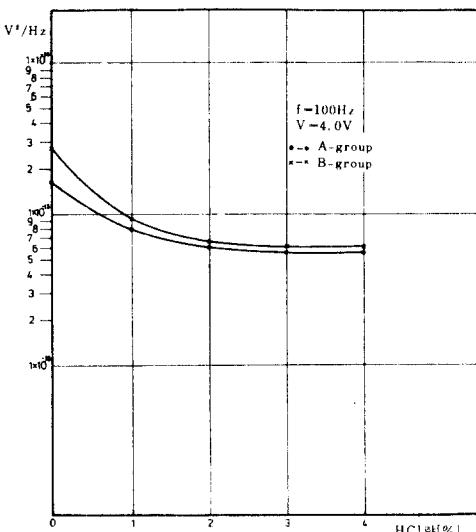


그림 6. HCl量 變化에 따른 雜音特性 (1)

Fig. 6. Noise characteristics on the HCl concentration (1).

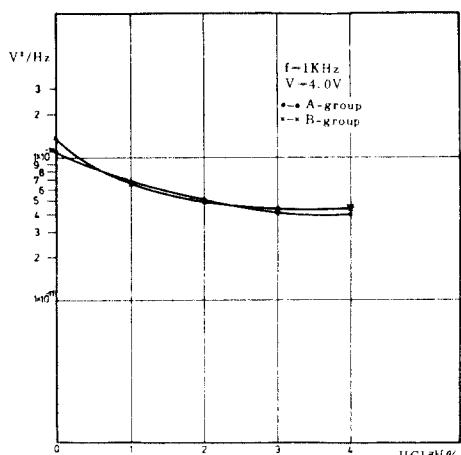


그림 7. HCl量 變化에 따른 雜音特性 (2)

Fig. 7. Noise characteristics on the HCl concentration (2).

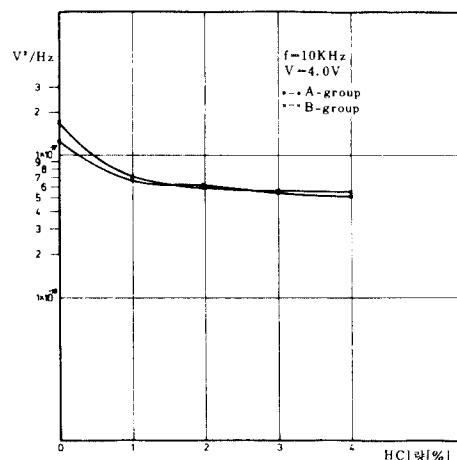


그림 8. HCl量 變化에 따른 雜音特性 (3)

Fig. 8. Noise characteristics on the HCl concentration (3).

위와 같은 方法으로 周波數를 100Hz에서 10KHz 까지 變化시키면서 雜音 spectrum을 测定한 것이 그림 5이다.

또 HCl量 變化에 따른 雜音 spectrum 變動狀態를 测定한 結果가 그림 6, 7, 8 과 같다.

이때 bias 電壓은 4.0V로 固定하고 周波數가 100Hz, 1KHz, 10KHz인 경우에 對하여 测定하였다.

#### IV. 考 察

그림 5에서 알 수 있듯이 周波數  $4 \times 10^3$ Hz 까지는 flicker 雜音 spectrum이 거의 理論에 부합되게 周波數에 반비례함을 볼 수 있다.

다음 그림 6, 7 및 8에서 gettering 效果에 따른 flicker 雜音 spectral intensity의 變化狀態를 살펴보면 HCl量이 0%와 2% 사이에서는 雜音이 크게 감소하지만 2%에서 4%까지는 거의 變化가 없는 것을 볼 수 있는데 이것은 HCl量을 1%만 넣어 gettering 을 하여도 flicker 雜音을 輕減시키는데 效果가 있으므로 HCl gettering 方法으로 酸化層內의 不純物을 減小시켜 低雜音 素子를 만들 수 있음을 알 수 있다.

이것은 現在 雜音要因을 除去하기 위한 基本的인 處理 즉 substrate는 back side에 damage 處理를 한 것을 使用하고, 製造工程에서 low concentration 處理 및 LTP (low temperature passivation) 處理 등을 하는 工程에 HCl gettering 工程을 추가하므로 더 좋은 低雜音 素子를 만들 수 있음을 意味한다. 또 HCl gettering에 依해 雜音이 輕減되었음으로 flicker 雜音이 어느 정도 表面狀態에 依存함도 알 수 있다.

特히 HCl 量을 2% 以上 3, 4%로 增加 하여도 雜音이 거의 減小 하지 않으므로 gettering를 위한 HCl 量은 2% 일 때가 最適임을 알 수 있다.

다음 A-group 및 B-group의 曲線 差異는 PSG 層의 gettering 効果를 나타내는 것으로 그림 6, 7 및 8에서 볼 때 HCl 量이 0%인 경우 즉 HCl gettering 을 하지 않았던 素子에서는 PSG 層의 効果가 實驗하 지만, 1% 以上 gettering을 한 경우는 HCl gettering에 比해 微弱함을 볼 수 있다. 그러므로 HCl gettering를 하는 工程에서는 PSG 層을 形成시키거나 除去할 必要는 없다.

## V. 結論

製作된 試料에 對한 flicker 雜音 spectral intensity 测定에서 다음과 같은 實驗的 事實을 알 수 있다.

- 1) Bipolar transistor에 HCl gettering oxidation 方法을 適用하여 flicker 雜音을 줄이므로 低雜音 素子를 만들 수 있다.
- 2) HCl gettering에 依해 flicker 雜音이 輕減되므로 flicker 雜音은 表面狀態에 어느 정도 依存性이 있다.
- 3) Chlorine gettering의 HCl 量은 2%가 適當하다.
- 4) PSG 層은 gettering을 하지 않는 경우 有効하다.
- 5) Flicker 雜音 测定 結果에 따라서도 gettering 効果與否를 判定할 수 있다.

## 감사의 말

試料製作에 助言을 주신 최태현씨와 雜音 测定을 助言을 주시고 测定 시스템을 提供해 주신 서울대학교 민홍식 박사님과 그의 研究生들께 감사를 드립니다.

## 参考文献

- [1] K.F. Knott, "Experimental location of the surface and bulk 1/f noise currents in low-noise, high-gain npn planar transistor,"

- IEEE Solid-State Electron., (GB), vol.16, no.12, pp.1429-34, Dec. 1973.*
- [2] S.T. Hsu, D.J. Fitzgerald and A.S. Grove "Surface-state related 1/f noise in p-n junctions and MOS transistors", *Applied Physics Letters*, vol.12, no.5, pp.187-89, May 1968.
  - [3] F.F. Offner, "1/f noise in semiconductors," *J. Appl. Phys.*, vol.41, no.12, pp. 5033-4, Nov. 1970.
  - [4] M. Storsiek and D. Wolf, "Origin of 1/f noise in bipolar TR," *IEEE Transactions Electron Device*, vol.27, no.29, Sep. 1980.
  - [5] A.L. McWhorter, "1/f noise and related surface effects in germanium," *Ph.D. Dissertation*, MIT Lincoln Lab., Lexington MA, Rep. 80, 1955.
  - [6] J.D. Lee, (an Editer), *Oxidation and Photolithography*. Publised KIET, 1980.
  - [7] S.J. Lee, Bipolar Process의 추세, 電子工學會誌, vol.6, no.4, pp.14-15, 1979.
  - [8] R.J. Krlegler, Y.C. Cheng and D.R. Colton, "The effect of HCl and Cl<sub>2</sub> on the thermal oxidation of silicon," *Solid-State Science and Technology (J. Electrochem. Soc.)*, vol.119, no.3, pp.388-392, March 1972.
  - [9] C.D. Motchen Bacher and F.C. Fichen, *Low-noise Electronic Design*. John Wiley and Sons, pp.273-293, 1973.
  - [10] C.D. Motchen Bacher and F.C. Fichen, *Ibid*, pp.13-15, 302-303, 1973.
  - [11] T.G. Kim, "N channel MOSFET ohmic 領域에서 flicker noise에 關한 研究," Master, D. Dissertation, 서울大學校, pp.26-43, 1981.