

オ6章

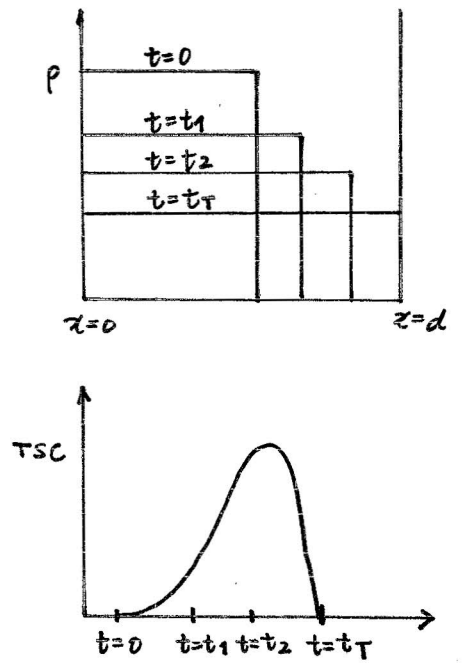
オ 図に電荷が矩形に分布している場合の T.S.C. の計算結果を示す。オ 図からオ 図までは、各々 S.C.L.C. 分布、指数分布、微分フェルミ分布についての T.S.C. を計算した結果を示している。指数分布、微分フェルミ分布の場合の具体的計算方法は、付録を参照のこと。

矩形分布は、他の3つの分布と比較して、いくつかの特徴を持っているのでそれらについて考えることにする。

1) ピーク以後急速に電流値が低下し有限の時間で0になること

この性質は、他の3つの分布では見られず、矩形特有のものである。オ 図の S.C.L.C 分布で示したように、一般に peak 以後の電流の下がり方は双極子によるものと比較して、ゆるやかである。この事は、漸近形の議論で示されるように、電流が t のべきに比例して減少するのに対し、双極子の場合には、 t の指数に比例して減少するという事実に関連している。これに対し、矩形による T.S.C. の下がり方は、双極子と比較してもなお急激であり、これは、注入電荷の分布の対称性が、試料の中心に対して、対称となるようなものであれば、完全に電流が0になるという、向題の特徴に依存するものである。この事実、可なり対称な分布では T.S.C. が現れないという事は、しばしば指摘される事であるが、前出の展開からも明らかである。

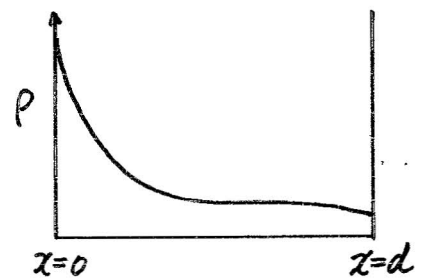
右図のように、 $t=0$ で矩形分布を持つならば、温度上昇とともに、電荷前面は $x=d$ に向かって進行し、この時分布は矩形を保つ。従って、電荷前面が $x=d$ に到達すれば、電荷は対称に分布し、TSC は $t=t_T$ において0になる事になる。このように、矩形分布の TSC の下がり方は、注入電荷の緩和機構を反映したものというより、その分布の特徴を反映しているのである。一般に、注入電荷の緩和とは、電荷がしだいに減少して行く過程であり、その減少は電荷の運動に支配され、電荷の運



動は常に電荷密度の不均一性を除去するよう起こる。このため、TSCにおける電流の減少は、電荷量の減少と不均一性の減少という二つの要因によつて、決定される。電流 I は

$$I(T) = \frac{\mu^*}{2de} Q_{total}^2 \left(1 - 2\frac{\bar{x}}{d}\right)$$

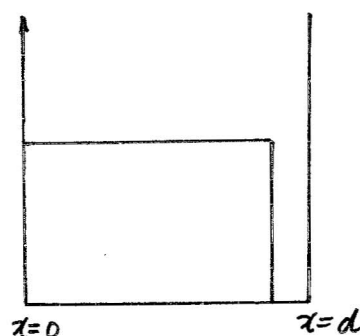
と表わされる。ここで、 Q_{total} は全電荷、 \bar{x} は平均の注入距離である。これから分かるように、電荷の減少による項 Q_{total}^2 と不均一性の程度を表わす項 $(1 - 2\bar{x}/d)$ の積によつて与えられる。一般に、 Q_{total} は単調に減少する量であり、 $(1 - 2\bar{x}/d)$ は電流の反転現象などの特別な場合を除いて、その大きさが減少する量である。一方 μ^* は、温度とともに通常は増加する定数であるから先に述べた、二つの項の積と、 μ^* のどちらが支配的であるかに従つて、 $I(T)$ は増加、又は、減少することになる。この事から、仮りに、電荷分布が非常に一方の電極に片寄っている場合には、電荷量の減少が支配的寄与をし、仮りに矩形で平均位置がかなり $d/2$ に近い場合には、 $(1 - 2\bar{x}/d)$ の減少が支配的な寄与をする事になる。右図のような中間的な分布のときは、電荷の減衰と、不均一性の減少が同程度の寄与することになる。SCLC 分布、指数分布の内片寄りか極端でないもの微分レベル分布でピークが極端に鋭くないものは、この場合に相当すると考えられる。



2) 電流ピークが平均位置の増加とともに低温側へ移動すること ($\bar{x} > \frac{d}{4}$)

矩形以外の場合には、ピーク温度は、ほぼ一定して 355~365 K 程度の所に現れる。矩形の場合で、 $\bar{x} = 13.33 \mu m$ では 360 K のピークがあり、他の場合と同様であるが、 $\bar{x} = 18.86 \mu m$ になるとピーク温度は 320 K にまで低下し、ピーク電流値自身も非常に小さくなる。これは矩形の場合の特徴の一つである。この原因は、不均一性の減少が非常に速く起こることである。すなわち、平均

注入位置が $d/2$ に近づくにつれて、電荷の前面は d に接近し、不均一性は、電荷の前面が $x=d$ に到達すれば完全に無くなるから、このような場合には、電荷前面は短時間に $x=d$ に到達してしまふことになり、その時点で電流は強制的に 0 になる。

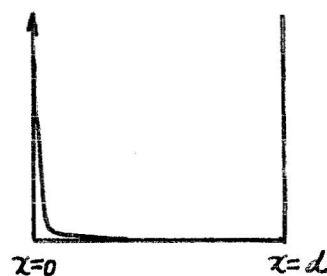


従って、 x が $d/2$ に接近するに従って、ピーク温度はいくらでも低くなる。言い換えれば、この場合のように不均一性が界面近くのせまい領域に集中している場合には、不均一性の緩和が速くおこるという事である。前図のような分布では、不均一性が全体に広がっていて、不均一性を緩和するために、電荷は長距離を移動しなくてはならないので、急速に緩和することはない。このように通常は、ピーク温度は、電荷分布に大きく依存する事はない。しかしながら、この事が成立するのは、電荷分布がそれほど極端ではないという事が言える場合に限る事は注意しなくてはならない。

3) 電流ピークが平均値の減少とともに低温側へ移動すること ($x < d/2$)

この事は一般的に言える事で、特に矩形の場合という訳ではない。

右図のような分布を考えてみよう。ピーク温度を評価するため、次のように考えよう。全電荷を Q とする平均注入距離を \bar{x} とすれば、電荷が \bar{x} 程度の距離移動する温度がピーク温度となるだろう。電界は Q/ϵ 程度であるから、電荷の移動距離は、



$$\int_0^{\bar{x}} \mu * \frac{Q}{\epsilon} dt \sim \frac{Q}{\epsilon} \bar{x}$$

となるからピークの温度では $Q\bar{x}/\epsilon \sim \bar{x}$ となり、ピーク温度は \bar{x} の減少とともに低温側へ移動する。もちろん $\bar{x} > d/2$ の場合には、 \bar{x} を $d - \bar{x}$ で置き換えなくてはならない。従ってこの場合は矩形に限らない。このように極端に片寄った分布の場合にピーク温度が低くなるのは、単純な移動距離の問題ではなく、電荷がいかに試料から出て行き易いかということによるのである。

他方2)では電荷分布の特殊な対称性によるのであり、多少に偶然的要素がある。

以上1)~3)は各々の電荷分布の緩和の形式に伴う、定性的な議論であるが、以下では各々の場合の電流値を比較してみよう。

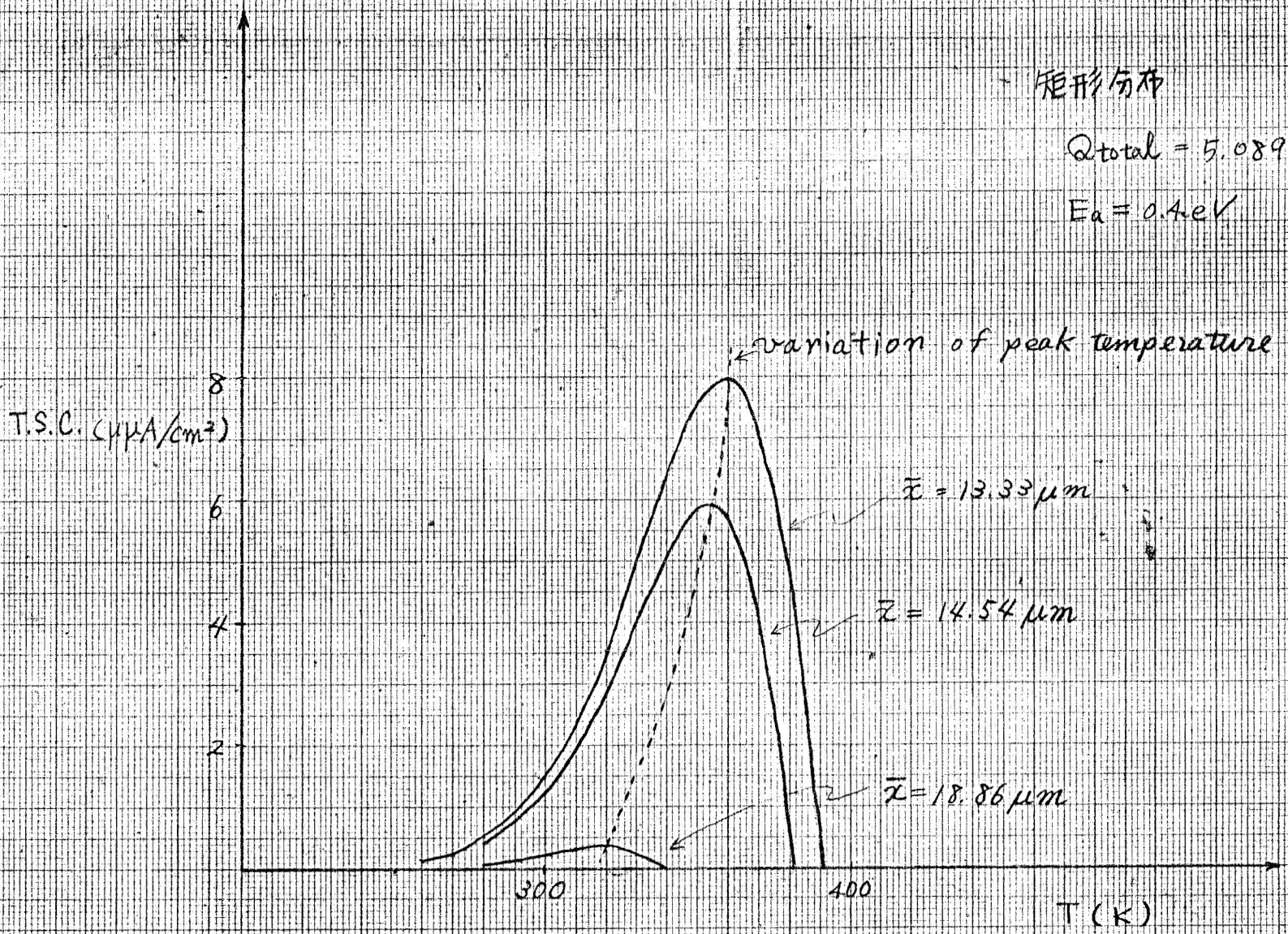
一般に電荷の分布を考える時、それらの分布の特徴を表わす量として、全電荷量、平均注入距離がしばしば用いられる。これらの量は前述のように、熱刺激電流に直接結びついている事から、これらの量は熱刺激電流測定においては、大変重要でもある。しかし、 σ 図から σ 図に示したように、初期温度においてこれら2つのパラメータが等しくとも、TSCスペクトルは全く異なってくる。例えば、矩形分布で $x = 13.33 \mu m$ の場合と、SCLC分布で同じ平均注入距離の場合を比較すると、矩形ではピーク電流は ~~$2.85 \mu A/cm^2$~~ $8 \mu A/cm^2$ であるのに対し、SCLC分布では $2.85 \mu A/cm^2$ である。もちろん、この事は分布が総量と平均位置からだけでは決まらない事から来るのである。電流値は、その他のパラメータにも大きく依存するのである。矩形分布、SCLC分布、指数分布は、2パラメータの分布であるから、総量と平均位置が決まれば各々の範囲内では分布は決定される。従ってTSC電荷量と平均位置から総量を計算したり、逆に平均位置を求める事もそれぞれの範囲内では可能である。しかし、その特定の分布に限定する先天的理由が存在しないならば、求められた結果の意見は注意深く考察されなければならない。

以上のモデル計算の結果を簡単にまとめよう。

- i) TSCに現われる注入電荷の緩和には、電荷量の減衰という緩和と、分布がなるべく一様になろうとする対称性の緩和という2つの要因が関係している。
- ii) TSCの立ち上がり部分は、試料内に電荷があるという事実に関連するのみで、i)で述べた2つの要因とは関係がなく、電荷分布によらない性質を持つ、従って電荷分布によらない初動度等の知見を得る

には有効な方法を提示する。(オ 章参照)

- iii) TSCの下がり部分(Tail)は、i)で述べた要因の影響を強く受け、スツの内どちらの影響を強く受けるかは電荷分布により異なり、必ずしも、総電荷や平均注入距離だけでは決まらない。
- iv) iii)で述べたように Tail は分布と関連しているから、電荷分布の情報を知ることが、従って、分布にかんする知識を得るために、使用される事が期待される。
- v) TSCの電流値は、全電荷、平均注入距離が同じであっても、大きく異なり、定量的議論には注意を要する。

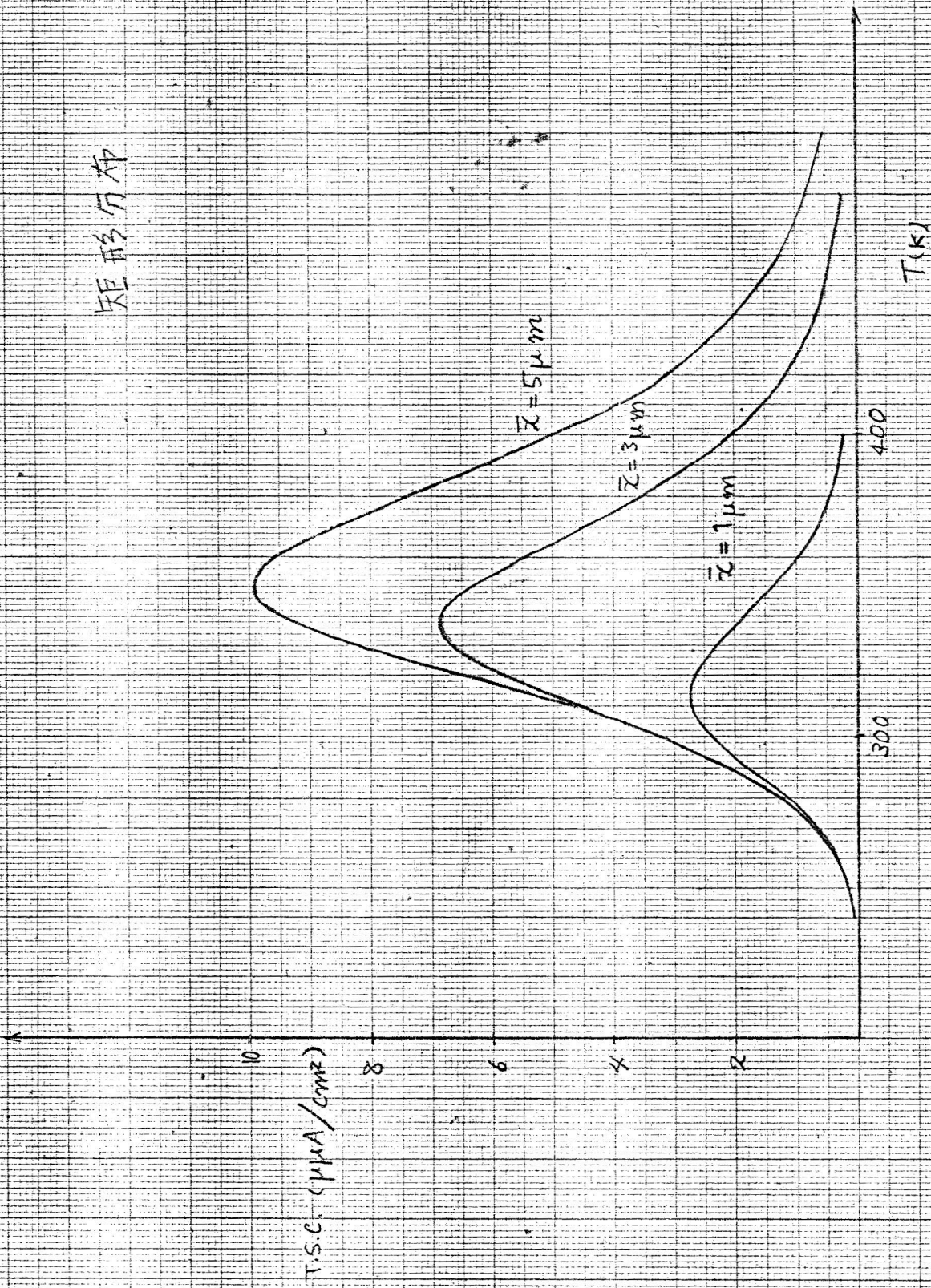


矩形分布

$$Q_{\text{total}} = 5.089 \text{ c/cm}^2$$

$$E_a = 0.4 \text{ eV}$$

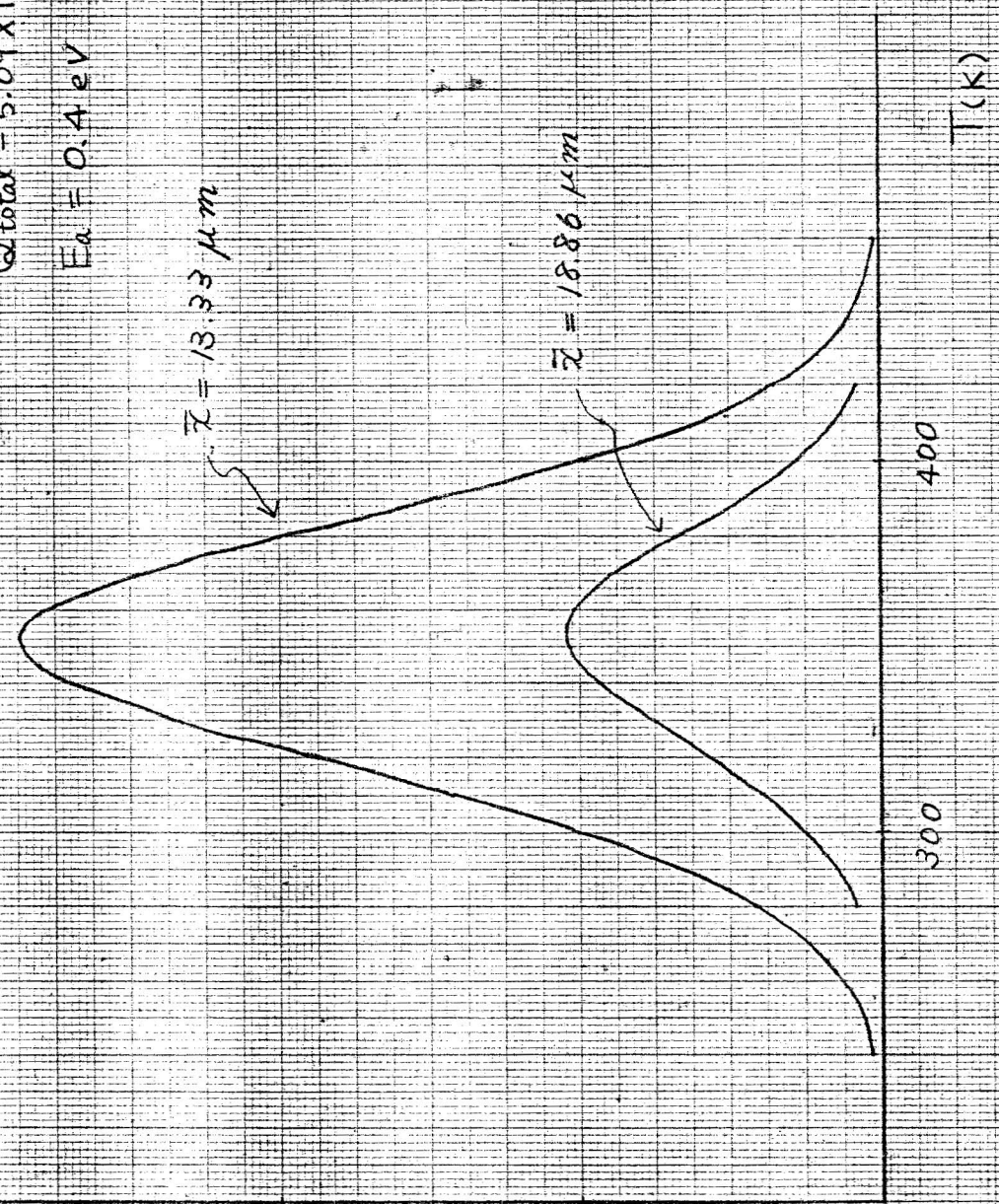
矩形分布



SOLC分布の平均注入距離とV₀とT.S.C.
の変化

$Q_{total} = 5.09 \times 10^8 \text{ (C/cm}^2\text{)}$
 $E_a = 0.4 \text{ eV}$

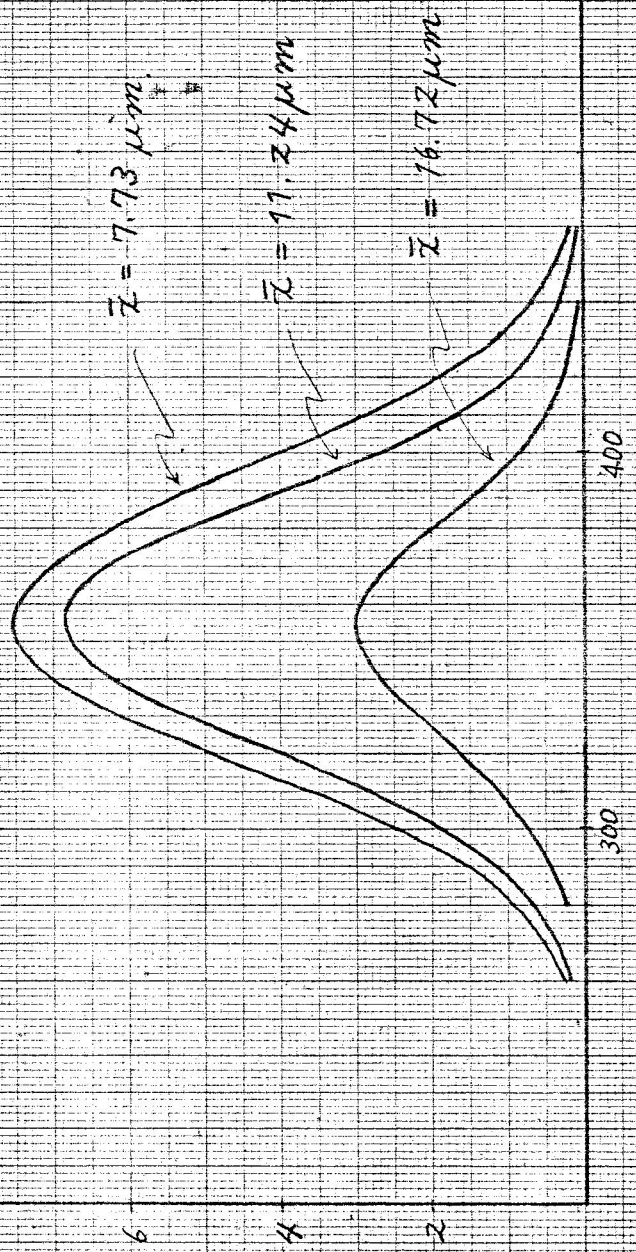
T.S.C.
($\mu\text{A/cm}^2$)



指数分布の平均注入距離V_{FB}TSCの変化

$$Q_{total} = 5.089 (e/cm^2)$$

$$E_a = 0.4 eV$$



$$P(\lambda) = \frac{b}{(1 + e^{\frac{\lambda - \lambda_0}{d}})(1 + e^{\frac{\lambda_0 - \lambda}{d}})}$$

$$Q_{total} = 5.089 \text{ (c/cm}^2\text{)}$$

