

厦门大学博士学位论文

应用于 G A T 器件定量优化设计
的物理模型研究

庄 宝 煌

2000 年 6 月

Doctoral Dissertation

**Investigation of the Physics Models Applied
to the Quantitative Optimal Designing for
GAT Devices**

Zhuang Bao-huang

June 2000

学校编码 10384

分类号 _____ 密

级

学 号 B9724001

UDC _____

厦门大学博士学位论文

应用于 G A T 器件定量优化设计
的物理模型研究

庄宝煌

指导教师 黄美纯教授, 博士生导师

专业名称 凝聚态物理

学位级别 博士

论文提交日期 2000年4月 日

论文答辩日期 2000年6月 日

学位授予单位和日期 厦门大学, 00年 月

答辩委员会主席 _____

评阅人 _____

2000年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

目 录

中文摘要	一~五
英文摘要	六~十三
符号说明	十四~十八
目录	十九~二十二
第一章 研究本课题的历史背景及其意义	1
1.1 研究 GAT 的历史背景	1
1.2 H.Kondo 的 GAT 理论及其极限性	5
1.2.1 H.Kondo 的 GAT 理论概述	5
1.2.2 H.Kondo 理论的极限性	7
1.3 改善、发展、丰富 H.Kondo 理论的必要性及其意义	9
1.4 小结	10
第一章参考文献	10
附录 1.1 条形结构 GAT 的版图示意图	12
附录 1.2 GAT 器件的夹断过程示意图	13
第二章 GAT 器件栅屏蔽效应二维解析模型	1
2.1 引言	14
2.2 GAT 的基本结构单元和工作机理定性分析	14
2.3 条形结构 GAT 集电区耗尽层电位、电场分布二维分析	15
2.3.1 泛定问题的解	15
2.3.2 近似定解问题以及 GAT 的电场屏蔽因子 m	18
2.4 GAT 栅屏蔽效应的计算机辅助分析	19
2.4.1 $\hat{E}(\pm D, 0)$ 及曲线“ $-\hat{E}(x, 0) \cdot \hat{y} \sim x$ ”和曲线“ $-\hat{E}(0, y) \cdot \hat{y} \sim y$ ”	19
2.4.2 m 的简化	20
2.5 结论	22
第二章参考文献	22
附录 2.1 式(2.8)为满足式(2.1)~(2.5)及(2.7)这一泛定问题的解的证明	2
第三章 GAT 器件“栅屏蔽效应二维解析模型”的推论和进一步研究	25
3.1 GAT 全夹断后的空间电荷区宽度 W_H 与结构参数、工艺参数和 V_{cb} 的	

目 录

解析关系	25
3.2 GAT 的全夹断电压 V_{p2} 与结构参数和工艺参数的解析关系	27
3.3 GAT 的外延层穿通电压与结构参数和工艺参数的解析关系	29
3.4 GAT 全夹断后的集电区空间电荷区的电位分布和电场分布的精确解答探讨	31
3.5 GAT 栅屏蔽因子 m_3 (等压峰值电场削弱因子) 与 W_H 的显式关系 $m_3 \sim W_H$	38
3.6 GAT 的“等峰值电场外加电压放大因子” m_4 与 W_H 的显式关系 $m_4 \sim W_H$	41
3.7 GAT 全夹断后的集电区空间电荷区的电位和电场分布的变分问题探讨	46
3.8 GAT 全夹断后的近似定解问题的解的归一化	48
3.9 GAT 全夹断后的近似定解问题的解中在具体情形下的级数系数 a_n 与 n 的关系	52
3.10 结论	57
第四章 定量分析 GAT 器件实现高特征频率 f_T 与高基区穿通电压 V_{PI} 兼容特性	61
4.1 引言	61
4.2 GAT 栅屏蔽效应二维解析模型简介	61
4.3 GAT 的基区穿通电压 V_{PI} 及其频率与电压兼容特性定量分析	63
4.3.1 GAT 淡基区侧空间电荷区宽度 x_{BC} 和 BJT 基区侧空间电荷区宽度 x_{BC0}	63
4.3.2 GAT, BJT 分别的基区穿通电压 V_{PI}, V_{PI0} 及其分别与基区宽度 W_B, W_{B0} 的关系	66

目 录

4.3.3 GAT “特征频率(或基区宽度)与基区穿通电压 (设计上)兼容”的解析式	67
4.3.4 对解析结果的讨论	68
4.4 实验结果的解释及 GAT 的工作机理	71
4.5 描述 GAT 器件“基区空间电荷屏蔽效应”的 “基区空间电荷屏蔽因子” m_b	72
4.6 结论	73
第四章参考文献	73
第五章 定量分析 GAT 器件实现高雪崩击穿电压 BV_{cbo} 与高电流增益 a 或 b 兼容特性	74
5.1 引言	74
5.2 GAT 的雪崩倍增因子及其“雪崩击穿电压与电流增益兼容特性” 定量分析	75
5.2.1 计算雪崩倍增因子的方法	75
5.2.2 计算结果	77
5.3 对 GAT 实现“高雪崩击穿电压与大电流增益兼容特性”这一 实验结果的解释	77
5.4 结论	79
第五章参考文献	80
附录 5.1: 计算雪崩倍增因子的算法	80
第六章 GAT 器件的几何近似分析模型	83
6.1 引言	83
6.2 坐标选择	83
6.3 GAT 的几何近似分析模型	84
6.4 几何近似分析模型的应用	88
6.4.1 按几何模型给出的 GAT 的栅屏蔽因子 m^*	88
6.4.2 按几何模型定量解释 GAT 实现高频与高压兼容的实验结论	88
6.4.3 按几何模型给出的 GAT 的外延层穿通电压	92
6.4.4 按几何模型解释 GAT 实现高雪崩击穿电压与高电流增益兼容的 实验结论	93
6.5 按几何模型给出 GAT 的定量优化设计必要条件	97
6.5.1 按几何模型给出 GAT 集电区厚度优化设计必要条件	97

目 录

6.5.2	按几何模型给出的 GAT 基区厚度优化设计必要条件	98
6.5.3	按几何模型给出的 GAT 结构参数 L 或 D 的优化设计必要条件	98
6.5.4	按几何模型给出工程上应用的优化设计必要条件	99
6.5.5	按几何模型给出的 GAT 优化设计必要条件的几个例子	100
6.5.6	讨论一下 GAT 器件“符合当前工艺实践范围”的参数的 “优化设计组合”	102
6.6	结论	104
	第六章参考文献	105
	第七章 应用于高反压、开关型和功率型 GAT 器件	
	定量优化设计的必要条件	106
7.1	引言	106
7.2	按 GAT 栅屏蔽效应二维解析模型 GAT 基区宽度 W_B 的优化设计	106
7.2.1	GAT 器件基区宽度 W_B 优化设计的思路	106
7.2.2	GAT 栅屏蔽效应二维解析模型简介	107
7.2.3	GAT 器件和 BJT 器件的基区穿通电压 $V_{PI,GAT}, V_{PI,BJT}$	108
7.2.4	GAT 器件和 BJT 器件的雪崩击穿电压 $BV_{cbo,GAT}, BV_{cbo,BJT}$	109
7.2.5	GAT 器件基区宽度 W_B 优化设计的定量原则	110
7.2.6	GAT 器件基区宽度 W_B 优化设计的必要条件	111
7.3	按 GAT 栅屏蔽效应二维模型 GAT 结构参数 (L, D) 的优化设计	116
7.3.1	“高反压”或“开关型”GAT 器件 结构参数 (L, D) 优化设计的思路	116
7.3.2	“高反压”或“开关型”GAT 器件 结构参数 (L, D) 优化设计的必要条件	116
7.4	按 GAT 栅屏蔽效应二维模型 GAT 集电区宽度的优化设计	118
7.4.1	GAT 集电区宽度以及外延层厚度的优化设计的思路	118
7.4.2	GAT 集电区宽度以及外延层厚度的优化设计的必要条件	118
7.5	按 GAT 栅屏蔽效应二维解析模型 GAT 优化设计的几个例子	122

目 录

7.6 结论	12
	8
第七章参考文献	129
致谢	130
博士生期间发表的论文	131

**Investigation of the Physics Models Applied
to the Quantitative Optimal Designing for
GAT Devices**

Dissertation for Ph. D.

By Zhuang Bao-huang

Supervisor: Professor Huang Mei-chun

Department of Physics, Xiamen University

The People's Republic of China, June 2000

内 容 提 要

本文在 H.Kondo 提出的 GAT (Gate Associated Transistor) 基础上, 全面地建立了描述 GAT 性能的物理模型, 这些新模型大大地改进了 H.Kondo 理论。给出了二维泊松方程的解析解。建立了描述栅对基区的屏蔽效应的放大因子模型 β_{Q0}^* 或 β_{Q0} 。采用笔者建立起来的新模型对 GAT 的工作机理及性能进行了详细的分析和研究, 并与常规 BJT 功率器件进行定量的比较。结果表明理论模型跟实验结果 (包括 H.Kondo 的实验结果) 吻合得相当好。

在第一章中, 论述了本论文研究的历史背景; 叙述了 H.Kondo 关于 GAT 的简单一维理论及其极限性并且定义和区分了两种夹断电压即初夹断电压 V_{p1} 和全夹断电压 V_{p2} ; 说明了改善、发展、丰富 H.Kondo 理论的必要性及其意义。另外, 本章还有两个附录。附录 1.1 给出了条形结构 GAT 的版图设计的示意图。附录 1.2 给出了条形结构 GAT 的夹断过程示意图。

本文的主要工作有六章, 即第二章~第七章。

在第二章中, 笔者建立了 GAT 器件集电结耗尽层电位分布和电场分布的二维解析模型式(2.6)、(2.8)~(2.12)及(2.15)和(2.16), 其中式(2.8)给出了 GAT 器件集电结耗尽层的电位分布, 而式(2.12)则给出了 GAT 器件集电结耗尽层的电场分布; 定量研究了 GAT 的栅屏蔽效应并借助计算机对栅屏蔽效应予以证实; 给出了刻画栅屏蔽效应的栅屏蔽因子 β_s 并予以简化以供工程上设计 GAT 参考; 该模型可供优化设计双极型高频、高压、低饱和压降功率器件参考。另外, 附录 2.1 证明了第二章中图 2.2 中关于 GAT 器件结构单元沟道区耗尽层的二维电位分布式(2.8)确实为满足式(2.1)~(2.5)及(2.7)这一泛定问题的解答这一事实。

在第三章中, 3.1~3.3 三节推导出器件 GAT 的集电区空间电荷区宽度 W_H 与器件的已知参数即结构参数 (L, D) 、工艺参数 $(N_c^?)$ 和未知参数即外加电压 V_{cb} 的解析单值关系 $V_{cb} \sim W_H$ 的显式解析表达式

$V_{cb} = f(L, D, N_c^?, W_H)$, 即式(3.15); 推导出器件 GAT 的全夹断电压 V_{p2}

与器件的已知参数即结构参数 (L, D) 、工艺参数 $(N_c^?)$ 的解析关系; 推导

出并说明了全夹断电压 V_{p2} 与初夹断电压 V_{p1} 的比值 $\frac{V_{p2}}{V_{p1}} = f(?)$ 仅仅是

γ [即 GAT 器件的结构参数 (L, D) 的比值] 的一元单调递增函数, 这里 $f(0) \approx 1, f(1) \approx 1.9286$; 推导出了器件的外延层穿通电压 $(V_{ep} \approx V_{cb} \Big|_{W_H \approx W_{ep}, x_{jb} \approx L})$ 与器件的已知参数即结构参数 (L, D, W_{col}) 、工艺参数 $(N_c^?)$ 的解析关系式(3.23), 从而推导出了 GAT 器件的外延层穿通电压和对偶常规器件 BJT 的外延层穿通电压在相同的外延层厚度 W_{ep} 、相同的淡基区参杂 $N_b^?$ 、相同的外延层参杂 $N_c^?$ 和相同的淡基区结深 $x_{jb}^?$ 情形下的比值公式(3.26), 比值公式(3.26)说明了该比值仅仅跟器件的已知参数即结构参数 (L, D, W_{col}) 有关, 而与工艺参数 $(N_c^?)$ 无关这一事实。3.4 节推导出二维 GAT 器件全夹断后的集电区空间电荷区的电位分布和电场分布的任意一种近似定解问题模型精确度的判据, 即电场吻合条件式(3.59)和(3.60); 说明了严格解答问题的解析分析是相当困难的这一事实, 从而说明了笔者提出的近似定解问题的原因和意义所在; 必须指出, 计算机分析表明, 笔者在第二章中给出的近似定解问题的解答基本上满足上述判据式(3.59)和(3.60), 尤其对于浅结栅阱 L , 精确度更高。3.5 节定量分析了 GAT 器件较之于对偶器件 BJT 的栅屏蔽因子 γ_s 与 GAT 的集电区空间电荷区宽度 W_H 的解析显式单值关系 $\gamma_s \sim W_H$; 另外, 通过计算机辅助分析表明,

$\frac{d\gamma_s}{dW_H} \Big|_{W_H \approx L \approx D} \approx 0$ 而且栅屏蔽因子 γ_s 在全夹断时取得最小值, 即有

$\gamma_s \Big|_{\min} \approx \gamma_s \Big|_{W_H \approx L \approx D}$, 这说明 GAT 的栅屏蔽效应在器件全夹断时表现得最

突出; GAT 器件全夹断时的屏蔽因子 $\gamma_s \Big|_{W_H \approx (L \approx D)}$ 仅仅跟 GAT 器件的结构

参数 L 和 D 的比值 $\gamma \left(\approx \frac{L}{D} \right)$ 有关, 而与器件的材料参数如外延参杂 $N_c^?$ 无

关; 特别地, 笔者具体算出 $\gamma_s \Big|_{W_H \approx L \approx D, D \approx L} \approx 0.4650$ 。3.6 节定量分析了

GAT 器件较之于对偶器件 BJT 的等场电压放大因子 γ_v 与 GAT 的集电区空

间电荷区宽度 W_H 的解析单值关系 $\varphi_V \sim W_H$; 另外, 通过计算机辅助分析

表明, $\left. \frac{d\varphi_V}{dW_H} \right|_{W_H=L/D} > 0$, 而且等场电压放大因子 φ_V 在全夹断时取得最

大值, 即有 $\varphi_V|_{\max} = \varphi_V|_{W_H=L/D}$, 这说明 GAT 的栅屏蔽效应在器件全夹

断时表现得最突出; GAT 器件全夹断时的等场电压放大因子 φ_V 仅仅跟

GAT 器件的结构参数 L 和 D 的比值 (L/D) 有关, 而与器件的材料参数

如外延掺杂 N_c 无关; 特别地, 笔者具体算出 $\varphi_V|_{W_H=L/D, D=L} = 1.9444$ 。

3.7 节 推导出二维 GAT 器件全夹断后的集电区空间电荷区的电位分布和电场分布的定解问题的变分问题的模型式(3.88)~ (3.92), 由式(3.92)知, 当参

变量 W_H 一定时, V_{cb} 是 $f(y)$ 的泛函; 提出问题“如何解式(3.90)或(3.92)

的变分问题?” **3.8 节** 推导出式(3.101)、(3.102)和(3.103)构成二维 GAT 器

件全夹断后的集电区空间电荷区的电位分布的近似定解问题的以 W_H 为自

变量的归一化解答 $(W_H = L/D)$; 推导出式(3.104a)、(3.104b)和式(3.102)、

(3.103)构成二维 GAT 器件全夹断后的集电结空间电荷区的电场分布的两个

分量之近似定解问题的以 W_H 为自变量的归一化解答 $(W_H = L/D)$ 。特

别值得一提的是笔者推导出 GAT 栅屏蔽效应二维解析模型中的级数系数

a_n 的与自变量 W_H 对应关系式(3.103)。**3.9 节** 通过计算机辅助分析得到

GAT 栅屏蔽效应二维解析模型中几种具体结构参数 L 与 D 和外加电压 V_{cb}

情形下的级数系数 a_n 与 n 的关系; 说明了级数系数 a_n 取值可正可负, 最终

收敛到“0”, 收敛速度很快, 最多取前十项就够精确了; 得出重要结论,

GAT 器件全夹断时的级数系数 a_n 仅仅与结构参数的比例 L/D 有关

系, 该关系由式(3.105)给出。

在第四章中, 以第二章和第三章的 GAT 栅屏蔽效应二维解析模型

为基础，分析 GAT 器件的基区穿通电压 V_{PI} 并且定量解释该器件实现高频率与高电压兼容的实验结果；定义了 GAT 器件的兼容因子 C 和基区空间电荷屏蔽因子 ϕ_Q ，经定量分析表明，GAT 器件的兼容因子 C 越大，则基区空间电荷屏蔽因子 ϕ_Q 越小即 GAT 器件的基区空间电荷屏蔽效应越明显，由于兼容因子 C 与栅阱深 L 以及外延层掺杂浓度 $N_c^?$ 成正比，所以工程上设计 GAT 器件时应该在满足击穿电压和电流特性的前提下尽量增大栅阱深 L 以及外延层掺杂浓度 $N_c^?$ 以提高兼容因子；通过本文我们进一步理解了 GAT 的物理实质和工作机理并为工程上设计 GAT 器件提供定量优化设计创造条件。

在第五章中，通过笔者于第二章和第三章中建立的关于电力半导体器件 GAT 的集电结耗尽层电位分布和电场分布的二维解析模型 定量研究了 GAT 的雪崩击穿特性；文献[1-2]中关于 GAT 能同时实现大电流增益和高雪崩击穿电压兼容这一实验结论在本章中也得到很好的定量分析；该模型将为定量设计高反压大电流 GAT 功率器件提供参考。另外，附录 5.1 给出了计算雪崩倍增因子的算法。

在第六章中，通过 GAT 器件集电结耗尽层沟道区中心线之电场分布用几何折线分布近似的方法尝试分析 GAT 器件的性能；建立了 GAT 器件集电结耗尽层沟道区中心线上的电位分布和电场分布的几何折线近似分析模型，定量研究了 GAT 的“栅屏蔽效应”；定量研究了 GAT 的基区穿通电压 V_{PI} ，定量解释了 GAT 器件实现高频率与高电压兼容的实验结论；定量研究了 GAT 的雪崩击穿特性，并且定量解释了该器件实现高雪崩击穿电压与高电流增益兼容的实验结论；采用单边突变结近似，给出了式(6.38.1)、(6.38.2)、(6.38.3)和(6.38.4)或式(6.40.1)、(6.40.2)、(6.40.3)和(6.40.4)，描绘了工程上优化设计 GAT 器件时 GAT 的结构参数和材料参数之间该满足的关系，可供工程上设计 GAT 器件参考。

在第七章中，通过笔者于第二章和第三章“定量分析功率器件 GAT 的栅屏蔽效应”^[5]建立的关于电力半导体器件 GAT 的集电结耗尽层电位分布和电场分布的“二维解析模型”，和第四章“定量分析功率器件 GAT 实现高频率与高基区穿通电压兼容特性”^[6]研究以及第五章“定量分析功率器件 GAT 实现高电流增益与高雪崩击穿电压兼容特性”^[7]研究的基础上“定量研究”了优化设计 GAT 时器件的“材料参数” ($N_c^?$; $N_b^?$) 和“结构参数”

$(W_B; L, D; W_{col})$ 所应该满足的关系, 即“GAT 器件优化设计必要条件”。

由于 GAT 器件优化设计必要条件 $f_{GAT}(N_c^?, N_b^?, W_B, L, D) ? 0$ 中的变量个数比对偶常规器件 BJT 的优化设计必要条件 $f_{BJT}(N_c^?, N_b^?, W_{B0}) ? 0$ 中的变量个数多, 所以 GAT 器件明显地比对偶常规器件 BJT 具有更大的可供选择的定量优化设计自由空间, 这不但是从事研究 GAT 优化设计的前提也是本章给出的关于 GAT 器件的又一个非常重要的性质! 不言而喻, 在定量研究基础上所设计的 GAT 器件的各项综合指标必将明显地优于定性设计的 GAT 器件的各项综合指标, 这便是本章的意义所在。本文给出的 GAT 优化设计必要条件模型为定量优化设计 GAT 器件提供非常有益的参考。

必须指出, 对于抗核辐照功率晶体管, 高反压晶体管, 开关型晶体管等特殊类型的 GAT 器件, 这类器件要求尽可能减小有源基区宽度以达到抗核辐照的功能。众所周知, 减小有源基区宽度对于器件在辐射环境下工作是极其有益的。GAT 的栅屏蔽效应使得 GAT 比起所对应的 BJT 来, 实现相同的设计指标 GAT 的有源基区宽度可以设计得更小, 从而实现了抗核辐照的性能。文献[4]报道已经作出了 $BV_{ceo} ? 225V, f_T ? 400MHz$ 的加固器件, 其 $\beta_{0.5}$ (增益下降到初始值的一半时的辐射剂量) 为常规器件 BJT 的 60 倍, 这有力地说明了 GAT “栅屏蔽效应” 的存在。

GAT 器件, 由于具有栅结构, 显示了高 c-e 击穿电压, 高共射电流增益, 高开关速度, 及较大的安全工作区的性能。我们对 GAT 的这些性能的改善进行了定量的分析, 它们来自于三个因素: 1) 栅阻止集电结耗尽层推入基区; 2) 栅削弱了靠近基区的集电结电场; 3) 栅降低了有效基区电阻。采用我们建立的模型, 预言了 GAT 的其它新性能。由于 GAT 的大安全工作区、高工作电压, GAT 在高频领域将应用于大功率、高频电路。

ABSTRACT

On the basis of GAT (Gate Associated Transistor) Proposed by H. Kondo, the new physics models of GAT have been set up in great detail to modify the ones established by H. Kondo, which fail to agree to the experimental results. The solution to the two-dimensional Poisson's Equation has been carried out.

The model of amplification factor β_{Q0}^* or β_{Q0} , which describes the shielding effect of the gates to the bases, has been set up. The operating mechanisms and characteristics of GAT were investigated and compared with those of conventional BJT power transistors quantitatively, using our new models. As a result, it is exciting that our new models agree to our experiments as well as H.Kondo's experiments very well.

In chapter one, the background of the investigation of this dissertation is discussed. H.Kondo's simple one-dimensional theory for device GAT and its disadvantage is narrated and two pinchoff voltages, i.e. the early pinchoff voltage V_{p1} and complete pinchoff voltage V_{p2} is defined and differentiated. The necessity and its significance of improving, developing and enriching H.Kondo's theory is illuminated. In addition, there are two appendixes in this chapter. Appendix 1.1 offers the sketch map of the design of strip configuration GAT Appendix 1.2 offers the sketch map of the pinchoff process of strip configuration GAT.

As the innovation pursuit, there are six chapters, i.e. the chapters from chapter two to chapter seven in this dissertation.

In chapter two, the two-dimensional analytical model of the electric potential and field distribution in GAT's collector depletion space in the cut-off state, function (2.6),(2.8)~(2.12),(2.15) and (2.16), is derived for the first time. Here, the potential distribution in GAT's collector depletion space is expressed by formula (2.8), and formula (2.12) express the field distribution in GAT's collector depletion space. The formula for GAT's gate shielding effect is derived and the gate shielding effect is proved quantitatively by a computer simulation. The gate shielding effect factor β_s is expressed to depict the GAT's gate shielding effect and is predigested to offer the reference of the engineering design for GAT. This model will provide assistance to the optimal design of bipolar power transistor with high frequency as well as high breakdown voltage. **In addition**, in appendix 2.1, the two-dimensional distribution of electric potential formula (2.8) about the solution of the depletion layer in the channel area in a unit of a device GAT in Fig.2.2 in chapter two is proved that it really satisfy the solution of the functional

problem, formula (2.1)~(2.5) and (2.7).

In chapter three, from part 3.1 to part 3.3, the analytical relation of $V_{cb} \sim W_H$ in a form of apparent analytical expression, $V_{cb} = f(L, D, N_c^?, W_H)$, i.e. formula (3.15) is derived, which expressed the relation of the unknown parameter, i.e. voltage V_{cb} with other parameters, the width W_H of the space depletion area in the collector area of a device GAT, the GAT's known parameter, i.e. configuration parameter (L, D) and material parameter $(N_c^?)$. The analytical relation between device GAT's complete pinchoff voltage V_{p2} and its known parameter, i.e. the configuration parameters (L, D) and material parameter $(N_c^?)$ is derived. $f(?)$, which is the ratio of the complete pinchoff voltage V_{p2} to the early pinchoff voltage V_{p1} , is derived and it illuminates that $V_{p2}/V_{p1} = f(?)$ is only a function of an only variable $?$, i.e. device GAT's ratio of the configuration parameter L to D . Here, $f(0) = 1$, $f(1) = 1.9286$. The analytical relative function (3.23) $(V_{ep} = V_{cb} |_{W_H = W_{ep}, x_{jb}^2 = L})$, which is the relation of device GAT's punchthrough voltage of the epitaxial layer with the known parameter, i.e. the configuration parameter (L, D, W_{col}) and material parameter $(N_c^?)$ is derived. And as a result, the function (3.26) of the ratio of device GAT's punchthrough voltage of the epitaxial layer to the epitaxial layer punchthrough voltage of the corresponding conventional device BJT under the same condition of the same epitaxial thickness W_{ep} , the same light doping concentration $N_b^?$ of the base, the same doping concentration $N_c^?$ of the epitaxial layer and the

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库