

吸收因子对砷化镓高功率高速光导开关延迟时间的影响

杜正伟¹, 龚 克¹, 孟凡宝², 杨周炳²

(1. 清华大学微波与数字通信国家重点实验室, 北京 100084; 2. 中国工程物理研究院应用电子学研究所, 成都 527 信箱, 成都 610003)

摘 要: 本文用由于禁带变窄引起的吸收边漂移造成的电子吸收来研究了砷化镓高功率高速光导开关的延迟时间, 给出了初始开态场、照射激光波长和温度对延迟时间的影响的简单公式. 结果表明开关的半导体片对照射激光的吸收因子增大了开关的延迟时间, 在计算中应该加以考虑.

关键词: 砷化镓高功率高速光导开关; 吸收边漂移; 延迟时间; 吸收系数; 吸收因子

中图分类号: TN364⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2000)05-0125-02

Influences of Absorption Fraction to Delay Time in GaAs High power High speed Photoconductive Switches

DU Zheng-wei¹, GONG Ke¹, MENG Fan-bao², YANG Zhou-bing²

(1. State Key Lab on Microwave and Digital Communications, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Institute of Applied Electronics, CAEP, P. O. Box 527, Chengdu 610003, China)

Abstract: The delay time gallium arsenide (GaAs) high power high speed photoconductive switches is studied on the basis of electroabsorption caused by absorption edge shifting due to bandgap narrowing. A simple formulation for the influences of the initial open state field, the laser wavelength and the temperature is given. The results show that the absorption fraction of the semiconductor slab of the switch increases the delay time of switches and should be considered in the calculation.

Key words: GaAs high power high speed photoconductive switch; absorption edge shifting; delay time; absorption coefficient; absorption fraction

1 引言

光导开关是最早出现的高速光电导器件, 与传统的气体开关、机械开关相比具有机械结构简单、开关速度快、触发更稳定、热容量和热传导性高、寄生电感低、能直接产生微波频段的电脉冲、更易实现多个开关的同步、灵敏度高和实现了光-电隔离等优点. 光导开关可以广泛地应用于超宽带雷达、脉冲功率和高功率微波发生器、高速光探测器和调制器、时域度量、光控微波、毫米波以及军用引信等方面. 正因为其在高功率微波武器、雷达和通信中有极为广阔的应用前景, 所以 1975 年 Auston 发明光导开关以后特别是八十年代以来, 很多人进行了大量的研究^[1].

大量实验表明^[1] 砷化镓高功率高速光导开关的开关过程包括三个阶段, 即: 初始阶段、持续阶段和恢复阶段. 在初始阶段, 在光电流快速增长前, 发现光导开关中光照开始和开关导通之间有一个延迟时间, 此时光电流保持很小. 实验表明延迟时间与初始开态场、照射激光波长和温度有关. 光导开关的延迟时间来源于未掺杂的本征半绝缘砷化镓材料中的如 EL2 深能级陷阱的填充^[2,3]. 文献中已用由于禁带变窄引起的吸收边漂移造成的电子吸收来研究砷化镓高功率光导开关依赖于

初始开态场、照射激光波长^[2]和温度^[3]的延迟时间. 因为被照射面的反射和有限厚度半导体片在另一面的透射, 照射开关的激光能量没有完全被开关吸收, 损失的这部分能量在总照射能量中所占的比重较大, 在计算延迟时间时不可忽略. 本文的目的就是讨论表征开关的空气-半导体界面处所发生反射和透射情况的吸收因子对高功率光导开关延迟时间的影响, 以便更准确地预测延迟时间.

2 延迟时间

为了后面叙述方便, 我们首先给出分析中要用到的初始阶段的三个假设: (a) 空穴中电子陷阱浓度与空穴陷阱浓度为同一数量级, 两种浓度大于热致载流子浓度; (b) 电子与空穴的寿命都大于各自的输运时间; (c) 照射能量足够大以致可以忽略碰撞电离和光复合.

被研究的竖向开

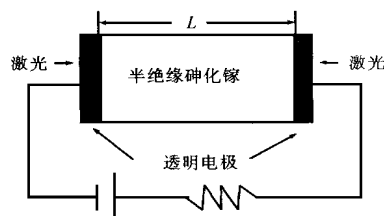


图 1 半绝缘砷化镓高功率高速光导开关电路

因为被照射面的反射和有限厚度半导体片在另一面的透射, 照射激光的能量没有完全被半导体吸收, 这部分损失的能量在总照射能量中所占的比重较大。如果用吸收因子来表示被半导体吸收的能量在总照射能量中所占的百分比, 则吸收因子 f 可以表示为^[4]

$$f = 1 - R - [(T^2 e^{-2\alpha}) / (1 - R^2 e^{-2\alpha})] (1 + R) \quad (1)$$

式中 R 和 T 分别表示空气-半导体界面处的反射和透射系数

$$R = [(n - 1)^2 + k^2] / [(n + 1)^2 + k^2], T = 1 - R \quad (2)$$

折射系数 n 和消光系数 k 为

$$n = \sqrt{\epsilon_r - k^2}, k = (ac) / (2\omega) \quad (3)$$

ϵ_r 为相对介电常数, c 为自由空间中的光速, ω 为照射激光的角频率。对于半绝缘砷化镓, 带到带的吸收系数 α 可以表示为^[3]

$$\alpha = 790 E^{1/3} [|dAi(\beta)/d\beta|^2 - \beta |Ai(\beta)|^2] + \alpha_0 \quad (4)$$

单位为 cm^{-1} 。著名的 Airy 函数 $Ai(\beta)$ 定义为

$$Ai(\beta) = (1/\pi) \int_0^\infty \cos(s\beta + s^3/3) ds \quad (5)$$

式中

$$\beta = 5 \times 10^4 (E_g(T) - \hbar\omega) / E^{2/3} \quad (6)$$

T 为温度(单位 K), E 为半导体中的均匀场(单位 V/cm), $\alpha_0 = 3\text{cm}^{-1}$, $\hbar\omega$ 为光子能量(单位 eV), \hbar 是普朗克(Planck)常数的 2π 倍。依赖于温度的禁带能量(单位 eV) 可以表示为

$$E_g(T) = E_g(0) - (aT^2) / (T + b) \quad (7)$$

在 0K 时禁带能量 $E_g(0) = 1.522\text{eV}$, $a = 5.8 \times 10^{-4} \text{eV}/\text{K}$, $b = 300\text{K}$ 。

因此, 延迟时间可以表示为

$$t_d = (\hbar\omega N_{it} L) / [f I_0 (1 - e^{-\alpha L})] \quad (8)$$

式中 t_d 的单位为秒(s), N_{it} 为空穴陷阱浓度(单位 cm^{-3}), I_0 为照射激光强度(单位 $\text{eV}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$)。不考虑吸收因子时的延迟时间为^[3]

$$t_d = (\hbar\omega N_{it} L) / [I_0 (1 - e^{-\alpha L})] \quad (9)$$

这里要特别指出的是吸收因子 f 是描述半导体对照射激光能量的吸收率, 而吸收系数 α 是描述半导体内部带到带的能量吸收率, 它们是两个不同的术语。

3 吸收因子对开关延迟时间的影响数值计算结果

为了把得到的结果与文献[2, 3]进行对比, 我们在计算中除 $\epsilon_r = 13.18$ 外取与文献[2, 3]中相同的参数, 即 $I_0 = 20\text{kW}/\text{cm}^2$, $N_{it} = 5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$, $L = 0.1\text{cm}$ 。图 2 给出了吸收因子 f 随初始开态场、照射激光波长和温度的变化关系。 f 表示总的照射能量被砷化镓片吸收的吸收率, $1/f$ 表示由于有限厚度的半导体片对照射激光能量的反射和透射从而使开关的延迟时间增加的倍数。由图可以看出, 被砷化镓片吸收的照射激光的能量远低于总的照射能量, 因此延迟时间远大于假设全部照射能量都被吸收时所得到的延迟时间。可见, 为了更准确地预测延迟时间, 在计算中应该考虑吸收因子。

另外, 在实验中往往容易得到的是照射激光器输出的激光脉冲能量, 而很难从实验上给出半导体材料所吸收的能量,

因此在计算和计算机模拟中应考虑吸收因子。

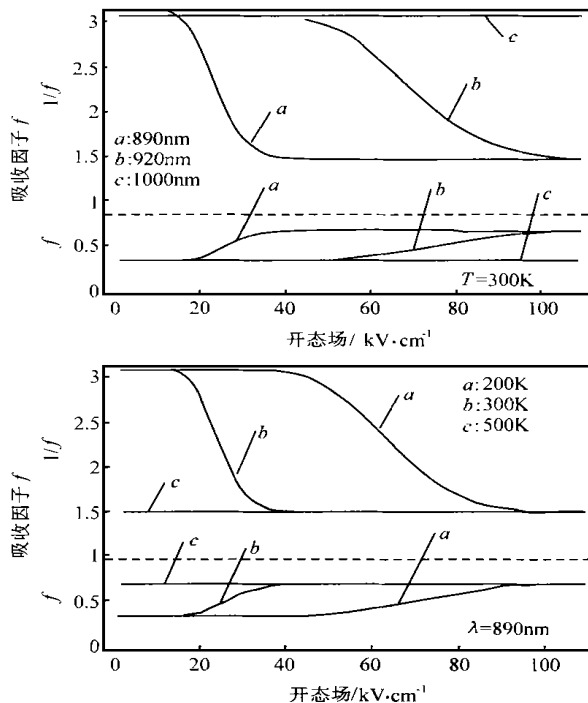


图 2 吸收因子随开态场变化的曲线。(a) 三种不同波长的照射激光; (b) 三种不同的温度

4 结论

本文研究了半绝缘砷化镓高功率高速光导开关的延迟时间与初始开态场、照射激光波长、温度之间的依赖关系。结果表明吸收因子增大了砷化镓高功率高速光导开关的延迟时间, 在预测开关的延迟时间时应该加以考虑。由本文得到的延迟时间随开关参数变化的基本规律与文献[2, 3]相同。



杜正伟 1971 年生, 分别于 1992 年、1995 年、1998 年在电子科技大学获工学学士、硕士、博士学位。现为清华大学电子工程系博士后。对超宽带/短脉冲电磁学、电波传播、微波传输线等感兴趣。

龚克 1955 年生, 清华大学副校长、电子工程系教授、博士生导师。1982 年在北京理工大学获工学学士学位, 1986 年在奥地利 GRAZ 技术大学通信与传播研究所获技术科学博士学位。长期从事微波、毫米波技术、电波传播、无线与个人通信方面的研究工作。先后发表学术论文 70 多篇, 完成科研成果 10 多项, 获得过多种奖励, 包括国家教委科技进步奖 2 次, 并被国家教委和人事部评为“优秀留学回国人员”。

参考文献

- [1] A. Rosen, F. Zetavem, Ed. . High Power Optically Activated Solid State Switches. Boston: Artech House, 1993

(下转第 124 页)

加时, p^+ 漏区注入漂移区(寄生 pnp 管基区)的空穴增加, 衬底电流(寄生 pnp 管集电极电流)会很大. 但混合结构利用二极管的反向导通后, 使寄生 pnp 管的基极短路, β 减小, 从而大大降低衬底电流, 图 2 和图 5 的模拟结果证明了这点. 图 5 是混合结构的漏压为 20V 时的导通状态下 MEDICI 的二维模拟结果.

4 结论

本文给出了一种新型的 LDMOS/LIGBT 混合结构. 通过二维数值模拟, 得出其稳态和瞬态的工作情况, 并给出了相关的实验结果, 与 LDMOS/LIGBT 的比较说明该结构能提供大的驱动电流、恒定的取样电压、较短的开关时间以及足够低的衬底电流, 适用于有高端、低端驱动的智能功率集成电路的设计.

参考文献

- [1] R. Hefner, et al. Solid State Electronics, 1988, 10: 1513~ 1532
- [2] 陈星弼. 功率 MOSFET 与高压智能功率集成电路. 东南出版社, 1990: 238~ 240
- [3] S. C. Sun, et al., IEEE Trans Electron Dev ED-27, 1980: 356
- [4] S. Colak, IEEE Trans Electron Dev ED-28, 1981: 1445

- [5] 李肇基, 张 . 电子学报, 1994, 22(5): 39~ 42
- [6] LI Zhaoji., et al. Chinese Journal of Electronics, July 1998, 3: 223~ 227
- [7] MEDICI USER'S manual, TMA, Inc, 1997



朱小安 1973 年出生, 1996 年 6 月毕业于电子科技大学微电子科学与工程系. 1996 年 9 月被保送进入电子科技大学微电子所攻读硕士学位至今. 主要研究方向为智能功率集成电路.



李学宁 1963 年出生, 1995 年获电子科技大学博士学位, 毕业后留该校任教, 现为微电子所副教授, 主要从事功率器件领域的研究.

(上接第 126 页)

- [2] L. Q. Zu, Y. Lu, H. Shen, M. Dutta. Delay time in GaAs high power high speed photoconductive switching devices. IEEE Photon. Lett., 1993, 5(6): 710~ 712
- [3] L. Q. Zu, Y. Lu, H. Shen, M. Dutta. Temperature dependent delay time in GaAs high power high speed photoconductive switching devices.

IEEE Photon. Lett., 1995, 7(1): 56~ 58

- [4] L. Partain, D. Day, R. Powell. Metastable impact ionization of traps model for lock-on in GaAs photoconductive switches. J. Appl. Phys., 1993, 74(1): 335~ 340