

雪崩倍增 GaAs 光电导太赫兹辐射源研究进展

施卫 闫志巾

Research progress on avalanche multiplication GaAs photoconductive terahertz emitter

Shi Wei Yan Zhi-Jin

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 228702 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.228702

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.228702>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I22>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

血凝素蛋白及抗体相互作用的太赫兹光谱主成分分析

Principal component analysis of terahertz spectrum on hemagglutinin protein and its antibody

物理学报.2015, 64(16): 168701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.168701>

相位补偿算法对提高太赫兹雷达距离像分辨率的研究

Improvement in the range resolution of THz radar using phase compensation algorithm

物理学报.2014, 63(14): 148701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.148701>

太赫兹双空芯光纤定向耦合器

Terahertz dual air core fiber directional coupler

物理学报.2013, 62(2): 028702 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.028702>

太赫兹双芯光子带隙光纤定向耦合器

Terahertz dual-core photonic band-gap fiber directional coupler

物理学报.2012, 61(10): 108701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.108701>

基于太赫兹量子级联激光器的无线信号传输的实现

Experimental realization of wireless transmission based on terahertz quantumcascade laser

物理学报.2012, 61(9): 098701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.098701>

专题: 太赫兹物理

雪崩倍增 GaAs 光电导太赫兹辐射源研究进展*

施卫† 闫志中

(西安理工大学应用物理系, 西安 710048)

(2015年8月11日收到; 2015年10月8日收到修改稿)

在飞秒激光激励下用 GaAs 光电导开关作为太赫兹 (THz) 辐射天线, 已经广泛用于太赫兹时域光谱系统, 但目前国际上都是使用 GaAs 光电导开关的线性工作模式, 而 GaAs 光电导开关的雪崩倍增工作模式所输出的超快电脉冲功率容量远大于其线性工作模式, 迄今为止, 还没有人提出用雪崩倍增机理的 GaAs 光电导开关作为辐射源产生 THz 电磁辐射. 本文探讨了用雪崩倍增工作模式的 GaAs 光电导开关作为光电导天线产生 THz 电磁波的可能性及研究进展. 通过理论分析及实验研究, 在实验上实现了: 1) 利用 nJ 量级飞秒激光触发 GaAs 光电导天线, 可以进入雪崩倍增工作模式; 2) 利用光激发电荷畴的猝灭模式, 可以使 GaAs 光电导天线载流子雪崩倍增模式的延续时间 (lock-on 时间) 变短. 这为利用具有雪崩倍增机理的 GaAs 光电导天线产生强 THz 辐射奠定了基础.

关键词: GaAs 光电导开关, 光电导天线, 光激发电荷畴, 雪崩倍增

PACS: 87.50.U-, 72.20.-i, 87.15.ht

DOI: 10.7498/aps.64.228702

1 引言

用光电导方法产生的太赫兹 (THz) 电磁波具有高频和超短脉冲 (皮秒量级) 特性, 对 THz 通信、雷达、半导体及电介质性能测量、天文学、无标记基因检查、细胞成像、无损检测、生化物检查、粮食选种、菌种优选等多领域的技术发展带来深远影响. 所谓光电导方法产生 THz 波, 就是利用超快半导体光电导开关 (photoconductive semiconductor switch, PCSS) 作为 THz 光电导天线 (photoconductive antenna, PCA), 其光激发载流子在偏置电场作用下加速运动从而辐射 THz 电磁波. 可见在物理本质上, PCA 就是电极间隙小至亚毫米或微米量级的 PCSS, 所不同的是 PCSS 产生的超短电脉冲在负载回路中, 而 PCA 产生的 THz 电磁波辐射到自由空间.

由于 GaAs PCSS 不仅可以在极高的重复频率

(亚 GHz—THz) 下工作、而且具有 ps 量级触发晃动、耐高电压及大的电流承载能力等独特性能, 从而成为目前产生 THz 电磁波的重要方法^[1-6]. 因此, 用 GaAs PCSS 作为 THz 光电导天线 (GaAs PCA) 产生高功率 THz 电磁波成为各国研究人员关注的问题, 人们从材料、设计等不同方面不断改进 GaAs PCA 的性能, 特别是辐射功率和信噪比^[7-9].

我们知道, GaAs PCSS 在不同的偏置电压和触发光条件下有两种截然不同的工作模式: 线性工作模式和雪崩倍增工作模式 (也称为非线性模式或高倍增模式或 lock-on 效应)^[10-12]. 线性工作模式的特点是: GaAs PCSS 每吸收一个入射光子, 最多产生一个电子-空穴对, 没有载流子的倍增效应, 开关的导通依赖于光生载流子. 当 GaAs PCSS 的偏置电场与触发光能量和都高于某一阈值时, 它将工作于雪崩倍增模式. 其突出特点是: 1) 存在载流子的雪崩倍增现象, 相当于 GaAs PCSS 每吸收

* 国家自然科学基金重大科学仪器研制专项 (批准号: 61427814)、国家自然科学基金 (批准号: 51377133)、中国工程物理研究院太赫兹科学技术基金 (批准号: CAEP THZ201404)、中国工程物理研究院脉冲功率重点实验室 (批准号: PPLF2013PZ01)、陕西省超快光电科学技术创新团队 (批准号: 2014KCT-13) 和装备预研基金 (批准号: 9140C370504140C37175) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: swshi@mail.xaut.edu.cn

一个入射光子, 将产生 10^3 — 10^5 个电子-空穴对, 称为雪崩光电导行为, 这使得用 μJ 甚至 nJ 量级的弱光触发高功率 GaAs PCSS 成为可能^[13-15]; 2) 存在光激发电荷畴现象^[16-21], 使得光注入载流子以 10^8cm/s 的速度穿越 GaAs 光电导开关的电极间隙, 比强电下载流子的饱和漂移速率大一个数量级, 形成独有的超快特性.

显然, GaAs PCSS 的雪崩倍增工作模式所输出的超快电脉冲功率容量远大于其线性工作模式.

然而, 截至目前, 在用 GaAs PCSS 作为 GaAs PCA 产生 THz 电磁波的研究中, 在国际上无一例外都是用 GaAs PCSS 的线性工作模式^[1-6,22-25]. 与线性 GaAs PCA 相比, 利用雪崩光电导效应, 每个入射光子可以产生 10^3 — 10^5 个电子空穴对, 这种载流子的雪崩倍增效应显然可以大幅度增强 GaAs PCA 辐射 THz 波的功率. 迄今为止, 国际上还没有人提出用雪崩倍增机理的 GaAs PCSS 作为 PCA 产生 THz 电磁辐射.

本文研究了用 GaAs PCSS 的雪崩倍增工作模式作为 PCA 产生 THz 电磁波的可能性及研究进展. 通过理论分析及实验研究, 在实验上实现了: 1) 利用 nJ 量级飞秒激光触发 GaAs PCA 进入雪崩倍增工作模式; 2) 利用光激发电荷畴的猝灭模式实现了使 GaAs PCA 载流子雪崩倍增模式的延续时间 (lock-on 时间) 变短. 为利用雪崩倍增 GaAs 光电导产生强 THz 辐射源奠定了基础.

2 需要解决的核心问题

要用 GaAs PCSS 作为具有雪崩倍增机理的 THz 光电导天线产生强 THz 电磁辐射, 就必须解决以下两方面的核心问题.

1) 在 GaAs PCA 中出现载流子的雪崩倍增效应必须同时满足相应的触发光能阈值和偏置电场阈值条件^[17,18], 也就是说, 当 GaAs PCA 的偏置电场超过耿氏电场阈值, 且触发光注入的载流子浓度满足形成电荷畴条件时, 才能生成光激发电荷畴, 从而形成载流子的雪崩碰撞电离导致载流子雪崩倍增^[16,19-21]. 光激发电荷畴与耿氏器件中的偶极畴明显不同的是: 由于材料的低掺杂半绝缘性, 该电荷畴内仅有光生电子积累层, 没有正离子层, 因而不同于人们熟知的耿氏偶极畴, 是一种单极电荷畴, 称为光激发单极畴; 耿氏偶极畴内产生一个与外加电场同方向的电场, 使畴内电场增强, 畴外电

场降低, 且正负层界面处电荷浓度最高, 而光激发单极畴与光生空穴之间产生一个与外加电场反向的电场, 使畴前的电场增强, 畴头部电子浓度最高; 耿氏偶极畴很快停止生长并达到稳态, 而光激发单极畴生长过程可以一直持续下去, 终因电子碰撞电离演变为发光电荷畴. GaAs 是直接带隙材料, 则发光电荷畴发光效率高, 产生的二次光子数目多, 同时这些光子也能在很短的距离内被再次吸收, 使得发光导致的畴扩散趋势小于转移电子效应导致的畴积累趋势, 在高场下畴头碰撞电离达到雪崩强度时, 发光电荷畴将演变为雪崩发光电荷畴, 雪崩发光电荷畴的漂移轨迹表现为发光电流丝, 其漂移速度与畴内光子和电子之比有关; 前一个雪崩发光电荷畴将作为次级光源, 在被电极完全吸收前触发下一个雪崩发光电荷畴的产生, 对外表现为长时间的开关电场锁定现象, 即雪崩倍增工作模式.

依据 GaAs PCA 雪崩倍增模式的光能、电场阈值条件可知^[17,18], 要用单脉冲能量为 nJ 量级的飞秒激光触发 GaAs PCA 进入雪崩倍增模式, 其偏置电场强度需要足够高, 这对现有的绝缘保护和绝缘结构的优化设计是一个挑战. 迄今为止, 尚未见到用飞秒激光脉冲 (nJ) 触发 GaAs PCA 进入雪崩倍增模式的任何报道.

2) 即便实现了飞秒激光触发 GaAs PCA 的雪崩光电导模式, 但因该模式电流波形的“锁定效应”(又称 lock-on 效应)^[19], 使 GaAs PCA 不能工作于高重复频率状态. 因此, 要用雪崩光电导方法产生强 THz 电磁辐射, 就必须将强电场偏置下载流子的雪崩倍增机理引入 GaAs PCA 的线性工作模式中, 形成线性雪崩光电导和相应的强 THz 辐射. 在一定的光能、偏置电场阈值条件下, 出现光激发电荷畴的产生及猝灭^[12,20,21], 是 GaAs 中特有的载流子输运方式. 通过调整 GaAs PCA 芯片缺陷能级的电特性和 GaAs PCA 芯片偏置电场的分布以及输入输出微带结构连接的配接方式, 利用光激发电荷畴猝灭模式的规律达到控制、调节光致碰撞电离的程度, 其核心是利用 GaAs 的能带结构特性和外部触发光能及电场约束条件使得由光激发电荷畴引起的载流子雪崩倍增的延续时间变短, 从而使 GaAs PCA 满足既具有载流子雪崩倍增效应, 又能在高重复频率光脉冲触发条件下工作. 用飞秒激光脉冲 (nJ) 触发 GaAs PCA 实现雪崩倍增猝灭工作模式, 同样未见任何报道.

3 用 nJ 量级飞秒弱光触发 GaAs PCA 实现雪崩倍增模式

3.1 GaAs PCA 雪崩倍增模式的最小光能阈值

根据 GaAs PCA 雪崩倍增模式的触发光能和偏置电场阈值关系^[12], 触发光能阈值随偏置电场的增大而减小, 飞秒激光振荡器的单脉冲能量大约在数十 nJ 左右, 是否可以满足雪崩倍增模式的阈值条件尚未见报道.

从理论上可以估算出 GaAs PCA 雪崩倍增模式的最小光能阈值: GaAs PCA 的雪崩倍增模式需满足材料内部形成光激发电荷畸的条件^[14], 即在半绝缘 GaAs 半导体中, 载流子浓度和器件长度必须满足

$$(n_0 + n_g)L \geq 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}, \quad (1)$$

其中 n_0 是半绝缘 GaAs 半导体的本征载流子浓度, n_g 是光激发非平衡载流子浓度. GaAs PCA 工作在雪崩倍增模式下, 由于光激发产生的载流子浓度远大于本征载流子浓度, 因此, GaAs PCA 吸收的光子数 (假设量子效率为 1) N_g 与 n_g 的关系为

$$n_g = \frac{N_g}{V}, \quad (2)$$

其中 V 是 GaAs PCA 吸收入射光脉冲的有效体积.

对于波长为 λ 的入射光脉冲, 其能量为 E , 则有

$$N_g = \frac{E\lambda}{hc}, \quad (3)$$

式中 h 为普朗克常数, c 为光速.

通过 (1), (2) 和 (3) 式可计算出, 在电场满足电场阈值时, 使 GaAs PCA 进入雪崩倍增模式所需触发光能的物理极限约为 1.1 nJ.

可见, 目前 THz 时域光谱系统 (THz-TDS) 中的飞秒激光振荡器的单脉冲能量可以满足触发 GaAs PCA 进入雪崩倍增模式.

3.2 用 nJ 量级飞秒弱光触发 GaAs PCA 的实验结果

在实验上, 截止目前国际上有报道使 GaAs PCSS 进入雪崩倍增模式的最低触发光能为 90 nJ^[26]. 本文经过恰当设计, 使用异面电极结构的 GaAs PCSS, 如图 1 所示, 再经过全固态绝缘封装, 提高了 GaAs PCA 的耐压性能.

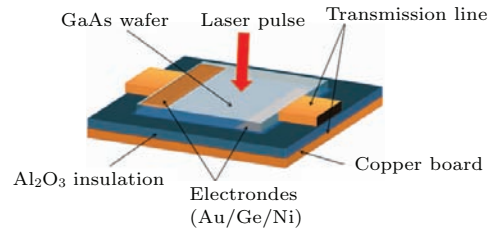


图 1 异面电极 GaAs PCSS 示意图

Fig. 1. Schematic of GaAs PCSS with the electrodes on different planes.

实验中使用自行研制的 GaAs PCA, 其电极间距为 0.55 mm, 实验测试电路如图 2 所示, 其中衰减器 60 dB. 用波长为 1064 nm, 脉宽为 20 ps 的激光脉冲触发 GaAs PCA. 当偏置电压为 4.3 kV, 触发光脉冲能量为 24.3 nJ 时, GaAs PCA 表现为雪崩倍增输出, 其波形见图 3. 此结果从实验上验证了. 目前的 THz-TDS 中的飞秒激光器的单脉冲能量可以满足触发 GaAs PCA 进入雪崩倍增模式.

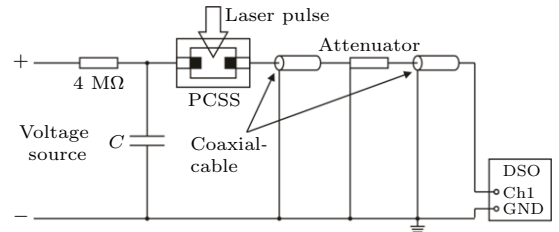


图 2 GaAs PCA 实验测试电路

Fig. 2. Experimental test circuit of GaAs PCA.

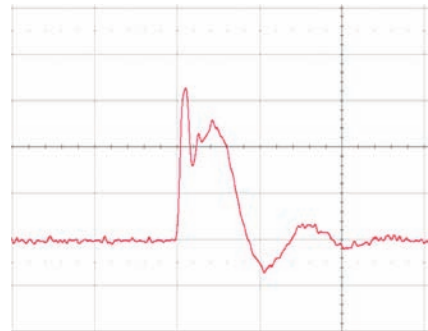


图 3 GaAs PCA 雪崩倍增输出波形 (y/div 500 mV, x/div 5 ns)

Fig. 3. The output waveform of the GaAs PCA with avalanche multiplication mode (y/div 500 mV, x/div 5 ns).

4 GaAs PCA 的雪崩倍增猝灭工作模式

GaAs PCA 工作在雪崩倍增模式时, 其电流波形存在“锁定效应 (lock-on 效应)”, 锁定效应的维持时间大约在数十微秒甚至更长. 对于重复频率

为 80 MHz 的飞秒激光振荡器, 相邻光脉冲的时间间隔是 12.5 ns. 因此, 如果第一个飞秒脉冲触发 GaAs PCA 进入了雪崩倍增模式, 则 GaAs PCA 的输出电流波形尚未完结时, 第二、第三个飞秒激光脉冲就会到来, GaAs PCA 不仅不会输出脉冲串, 而且会导致 GaAs PCA 的击穿. 所以, 工作在雪崩倍增模式的 GaAs PCA 不能适应在 80 MHz 重复频率状态下工作.

我们从理论和实验上都验证了 GaAs PCA 存在光激发电荷畴的猝灭工作模式^[16-18]. 首先在雪崩倍增模式的阈值条件下触发 GaAs PCA, 使之发生载流子雪崩倍增; 然后破坏维持载流子雪崩倍增所需的外部条件, 使之迅速退出雪崩倍增模式而进入线性模式; 最终开关在极短的时间内因载流子消耗殆尽而自然关断, 不再出现明显的锁定波形. GaAs PCA 将表现出线性雪崩光电导, 这种光激发电荷畴的猝灭模式, 使得锁定效应的维持时间减小至几个纳秒, 则 GaAs PCA 工作在具有线性雪崩光电导的光激发电荷畴猝灭模式, 这样就可以工作在 80 MHz 的高重复频率状态, 这就是具有雪崩倍增机理的 GaAs PCA.

实验中仍然使用电极间隙为 0.55 mm 的 GaAs PCA, 触发飞秒激光波长为 800 nm, 脉宽为 100 fs. 调节触发光, 使 GaAs PCA 吸收的飞秒激光单脉冲能量为 3.5 nJ, 实验测试电路同图 2. 实验中选择适当的储能电容量, 每次触发都保持激光单脉冲能量为 3.5 nJ, 逐渐增加偏置电压, 使用示波器观察 GaAs PCA 输出波形. 当偏置电压小于 3.41 kV 时, GaAs PCA 都工作在线性模式; 当偏置电压大于等于 3.41 kV 时, GaAs PCA 满足光电阈值, 进入雪崩倍增状态, 随着储能电容器电荷量的减小, 电容残压迅速下降, 迫使 GaAs PCA 载流子雪崩倍增过程结束, 从而实现 GaAs PCA 的雪崩倍增猝灭工作模式, 在示波器上可观察到 GaAs PCA 输出既具有雪崩电导, 又近似线性工作模式的波形. 图 4 是偏置电压为 3.8 kV 时, GaAs PCA 的输出波形, 其脉宽为 1.25 ns, 上升沿为 658 ps.

表面上看, 图 4 所示的波形好像是 GaAs PCA 的线性模式, 但通过计算 GaAs PCA 吸收的触发光子数及输出电脉冲的电子数得知, 此时 GaAs PCA 每吸收一个光子相当于产生了约 10 个电子-空穴对, 已经出现了倍增效应. 如果进一步增加偏置电压等措施, 电子的倍增效应将增大.

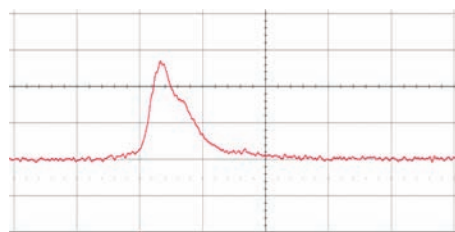


图 4 GaAs PCA 雪崩倍增猝灭模式输出波形 (y/div 500 mV, x/div 2 ns)

Fig. 4. The output waveform of the GaAs PCA with avalanche multiplication quenching mode (y/div 500 mV, x/div 2 ns).

5 雪崩倍增 GaAs PCA 研究工作展望

以上研究结果表明, GaAs PCA 的雪崩倍增猝灭工作模式可以同时满足: 1) 用单脉冲能量为 3.5 nJ 的飞秒激光触发 GaAs PCA, 可以实现载流子的雪崩倍增, 这是目前国际上有报道的最小值; 2) GaAs PCA 的雪崩倍增猝灭工作模式, 可以使载流子雪崩倍增的延续时间变短, GaAs PCA 能够在 80 MHz 重复频率状态下工作. 因此, 利用 GaAs PCA 的雪崩倍增猝灭工作模式, 实现具有雪崩倍增的强 THz 辐射是可行的.

然而, 要研制出具有雪崩倍增 GaAs PCA 实用器件, 还必须开展以下工作.

5.1 GaAs PCA 雪崩倍增猝灭的延续时间与载流子倍增率的规律

虽然在上述实验中获得了 GaAs PCA 在雪崩倍增猝灭工作模式下, 输出脉宽仅有 1.25 ns, 但载流子倍增率还不够高. 需要进一步探索决定 GaAs PCA 的雪崩倍增猝灭模式下, 影响输出电脉冲脉宽和载流子倍增率的因素及规律, 得到尽可能短的输出脉宽和尽可能高的倍增率.

5.2 雪崩倍增 GaAs PCA 的丝状电流及寿命

GaAs 光电导开关工作在雪崩倍增模式下, 会出现电流集中的效应, 即形成丝状电流, 这是影响其寿命的主要因素. 尽管雪崩倍增 GaAs PCA 是工作在雪崩倍增猝灭模式, GaAs PCA 的通流时间大大减少, 但仍然会以丝状电流方式出现.

要避免 GaAs PCA 在雪崩倍增猝灭模式下的丝状电流对 GaAs 材料的破坏作用, 其关键是通过

改进 GaAs 芯片性能和制备工艺来改善触发导通瞬态过程中 GaAs 芯片内电场的分布, 达到抑制丝状电流的形成.

6 结 论

本文就是否可以用 GaAs PCA 产生具有雪崩倍增机理的强 THz 辐射进行了探讨, 研究表明:

1) 用 nJ 量级的飞秒激光脉冲可以触发 GaAs PCA 进入雪崩倍增工作模式;

2) GaAs PCA 的雪崩倍增猝灭工作模式可以使载流子雪崩倍增的延续时间变短, 能够在 80 MHz 重复频率状态下工作;

3) 用雪崩倍增机理的 GaAs PCSS 作为 PCA 产生强 THz 电磁辐射是具有理论和实验基础的, 随着研究工作的深入和相关制备工艺的改进, 应在不久问世.

感谢西安理工大学超快光电技术研究中心的全体同仁在研究工作中的支持和协作.

参考文献

- [1] Takano K, Chiyoda Y, Nishida T, Miyamaru F, Kawabata T, Sasaki H, Takeda M W, Hangyo M 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 161114
- [2] Krause J, Wagner M, Winnerl S, Helm M, Stehr D 2011 *Opt. Express* **19** 19114
- [3] Shi W, Hou L, Wang X M 2011 *J. Appl. Phys.* **110** 023111
- [4] Rihani S, Faulks R, Beere H, Page H, Gregory I, Evans M, Ritchie D A, Peppe M 2009 *Appl. Phys. Lett.* **95** 051106
- [5] Gao Y H, Chen M K, Yin S, Ruffin P, Brantley C, Edwards E 2011 *J. Appl. Phys.* **109** 033108
- [6] Miyamaru F, Saito Y, Yamamoto K, Furuya T, Nishizawa S, Tani M 2010 *Appl. Phys. Lett.* **96** 211104
- [7] Lu L, Sun J D, Roger A L, Sun Y F, Wu D M, Cai Y, Qin H 2015 *Chin. Phys. B* **24** 028504
- [8] Yang Y P, Ranjan S, Zhang W L 2014 *Chin. Phys. B* **23** 128702
- [9] Sun Y F, Sun J D, Zhang X Y, Qin H, Zhang B S, Wu D M 2012 *Chin. Phys. B* **21** 108504
- [10] Loubriel G M, Zutavern F J, Baca A G, Hjalmarsen H P, Plut T, Helgeson W D, Brown D J 1997 *IEEE Trans. Plasma Sci.* **25** 124
- [11] Jerry L H, Bailey D W, Dougal R A, Venkatesan V 1995 *IEEE Trans. Power Electron.* **10** 615
- [12] Shi W, Zhao W, Zhang X B, Li E L 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 867 (in Chinese) [施卫, 赵卫, 张显斌, 李恩玲 2002 物理学报 **51** 867]
- [13] Islam N E, Schamiloglu E, Fleddermann C B 1998 *Appl. Phys. Lett.* **73** 1988
- [14] Shi W, Qu G H, Xu M, Xue H, Ji W L, Zhang L, Tian L Q 2009 *Appl. Phys. Lett.* **94** 072110
- [15] Shi W, Tian L Q, Liu Z, Zhang L Q, Zhang Z Z, Zhou L J, Liu H W, Xie W P 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 043511
- [16] Shi W, Liang Z X 1999 *Chin. J. Semicond.* **21** 53 (in Chinese) [施卫, 梁振宪 1999 半导体学报 **21** 53]
- [17] Shi W 2001 *Chin. J. Semicond.* **22** 1481
- [18] Shi W, Chen E Z, Zhang X B, Li Q 2002 *Chin. Phys. Lett.* **19** 1119
- [19] Shi W, Tian L 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 202103
- [20] Shi W, Dai H Y, Sun X W 2003 *Chin. Opt. Lett.* **1** 553
- [21] Tian L Q, Shi W 2008 *J. Semicond.* **29** 1913
- [22] Faulks R, Rihani S, Beere H E, Evans M J, Ritchie D A, Pepper M 2010 *Appl. Phys. Lett.* **96** 081106
- [23] Shi W, Zhang Z Z, Hou L 2010 *Chin. Phys. Lett.* **27** 087203
- [24] Diao J M, Du L, Ouyang J, Yang P, Nie Z P 2011 *J. Electromagn. Waves Appl.* **25** 2236
- [25] Ma Z, Ma H M, Yang C T, Feng K M 2011 *J. Syst. Eng. Electron.* **22** 373
- [26] Loubriel G M, Helgeson W D, McLaughlin D L, O'Malley M W, Zutavern F J, Rosen A, Stabile P J 1991 *IEEE Trans. Electron Dev.* **38** 692

SPECIAL ISSUE—Terahertz physics

Research progress on avalanche multiplication GaAs photoconductive terahertz emitter^{*}

Shi Wei[†] Yan Zhi-Jin*(Applied Physics Department, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)*

(Received 11 August 2015; revised manuscript received 8 October 2015)

Abstract

GaAs photoconductive switch illuminated by a femto-second laser has been widely used in a terahertz (THz) time domain spectroscopy system as a THz wave emission antenna. Now, all of the GaAs photoconductive switches are used in linear mode. However, when the GaAs photoconductive switch operates in an avalanche multiplication mode, the power capacity of output ultrafast electric pulse is much higher than that in a linear mode. So far, nobody has proposed the idea of generating THz waves by using the GaAs photoconductive switches in the avalanche multiplication mode. In this paper, we report the feasibility and research progress of using the GaAs photoconductive switches in the avalanche multiplication mode as the THz sources. By theoretical analysis and experimental research, some results are obtained experimentally as follows. 1) The GaAs photoconductive antenna can operate in an avalanche multiplication mode when illuminated by a femto-second laser pulse with an energy on the order of nJ. 2) The maintaining time of the avalanche multiplication mode, i.e, lock-on period, can be reduced by the quenching mode of photo-activated charge domain. These results lay the foundation for generating the high intensity THz emission by the GaAs photoconductive antenna with the avalanche multiplication mechanism.

Keywords: GaAs photoconductive switch, photoconductive antenna, photo-activated charge domain, avalanche multiplication

PACS: 87.50.U–, 72.20.–i, 87.15.ht

DOI: [10.7498/aps.64.228702](https://doi.org/10.7498/aps.64.228702)

^{*} Project supported by the Special Fund for Key Research on Scientific Instruments of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61427814), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51377133), the Terahertz Science and Technology Fund of Chinese Academy of Engineering Physics (Grant No. CAEP THZ201404), the Foundation of Pulse Power Key Laboratory of Chinese Academy of Engineering Physics (Grant No. PPLF2013PZ01), the Foundation of Shaanxi Key Science and Technology Innovation Team, China (Grant No. 2014KTC-13), and the Equipment Pre-research Fund Project, China (Grant No. 9140C370504140C37175).

[†] Corresponding author. E-mail: swshi@mail.xaut.edu.cn