

硅光电子开关测量高功率激光 脉冲信噪比的问题讨论

支婷婷 陈兰荣

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

采用 50 pps 的激光脉冲, 能量是 20 mJ/脉冲, 在硅光电子开关中研究对材料硅的破坏。计算表明, 这种破坏基本在表面, 它与激光脉宽、光能流量和作用方式有关, 结果与实验符合很好。

关键词: 光电子开关, 光电导, 信噪比。

一、引 言

硅光电子开关元件研制成功后, 已进行了实验^[1,2]。如它的光电导效应可作为探测器, 测量高功率激光系统的信噪比。所谓信噪比, 是指主激光脉冲与紧靠此光脉冲前的小脉冲(称预脉冲)的能量比, 这是反映激光系统脉冲质量好坏的一个很重要的参量。使用过程中发现, 为了测量 1×10^{-6} 信噪比值, 要求 100 mJ 以上的光能照射硅光电子开关, 在光能密度不同时, 会发生该元件中的工作物质硅表面的破坏, 影响对信噪比的测量, 因此, 需要弄清这个问题。

二、实 验

用一台 $1.06 \mu\text{m}$ 的被动锁模激光器, 并经选脉冲装置, 选出单脉冲, 输出脉宽是 50 ps, 单横模结构, 后经二级放大器, 放大能量达 20 mJ 左右。用一块透镜把光束聚焦照射于硅光电子开关中的硅块上。当聚焦光斑半径 $a = 0.05 \text{ cm}$ 时, 光束能量 $E = 1.5 \text{ mJ}$, 即平均能量相当于 190 mJ/cm^2 左右, 硅已经被破坏了; 若调节焦距, 使光斑变大且均匀分布于硅表面, 并提高光能数倍, 结果不发生破坏。实验得到, 在 $a = 0.2 \text{ cm}$, 硅被照光能在 12 mJ 时, 无破坏现象, 当光能增到 15 mJ 时, 相当于 120 mJ/cm^2 , 破坏痕迹出现, 这可以定义为实验中破坏阈值的条件。

三、分析和讨论

对激光束(设光斑半径为 a)照射物质表面的理论处理, 我们采用一个较为现实的热散方程近似解^[3,4]:

收稿日期: 1986年7月31日

$$T(Z, t) = 2F_0(kt)^{1/2}K^{-1} \left\{ \operatorname{ierfc} \frac{Z}{2\sqrt{kt}} - \operatorname{ierfc} \frac{(Z^2 + a^2)^{1/2}}{2\sqrt{kt}} \right\}. \quad (1)$$

它可以算出激光照射硅材料不同深度 Z 的温度 T 分布。式中 F_0 是光能流量, K 和 k 分别为热传导和扩散率, 对硅材料, $K=1.45 \text{ W/cm}\cdot\text{K}$, $k=0.9 \text{ cm}^2/\text{s}$, t 是光照时间, 也就是激光脉宽, 利用硅的各物理参量和本实验参数, 并改变不同脉宽 t , 算得结果见图 1。由图说明, 对微微秒量级脉宽, 当 $Z > 0.5 \mu\text{m}$ 时, 上式就无意义了, 而对毫微秒脉宽, Z 也不能超过 $2 \mu\text{m}$ 以上。这反映高功率激光作用硅材料的热效应基本接近在表面。我们若取 $Z=0$, (1)式可简化为:

$$T(Z, t)|_{Z=0} = 2F_0(kt)^{1/2}K^{-1} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} - \operatorname{ierfc}(a/2\sqrt{kt}) \right\}. \quad (2)$$

代入实验中破坏阈值条件: $a=0.2 \text{ cm}$, $E=15 \text{ mJ}$, 得到表面破坏温度 $T_{Z=0} \approx 8.5 \times 10^3 \text{ K}$ 。这是知道的, 即硅的溶化温度是 1693 K , 通常, 光强在 $10^5 \sim 10^4 \text{ W/cm}^2$ 下, 加热不会出现溶化和汽化, 在 $10^5 \sim 10^6 \text{ W/cm}^2$ 时, 溶化开始, 到 $\sim 10^7 \text{ W/cm}^2$ 以上时, 物质既破坏, 还伴随了汽化。本实验的实验条件, 光强已达 $\sim 10^9 \text{ W/cm}^2$, 破坏的温度已高出溶化温度数倍。

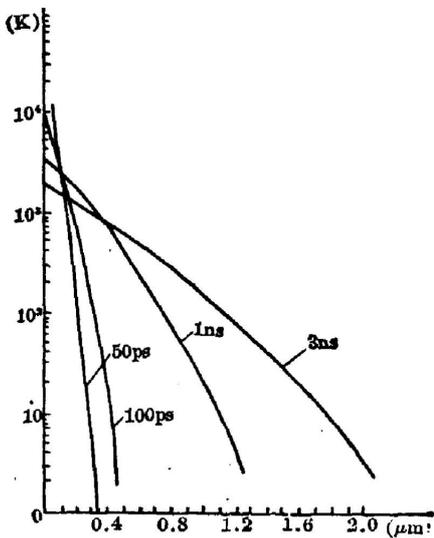


Fig. 1 Dependence of temperature T on the depth Z for different pulse duration t

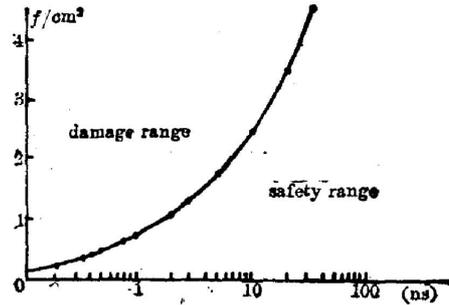


Fig. 2 Variation of laser pulse duration t with the uniform energy flux F_0

我们以 $T=8.5 \times 10^3 \text{ K}$ 为破坏阈值, 从而得到本实验中的硅光电子开关材料表面破坏条件是:

$$F_0 \sqrt{t} < 1.1 \times 10^4. \quad (3)$$

F_0 牵涉三个参量, 即 E , t 和 a , 并且起真实破坏作用的光能应该考虑硅表面的反射损耗, 在上面的计算中, 我们取硅块表面反射率 $\sim 30\%$, 图 2 是利用 (3) 式, 反映激光脉宽和光能流量的函数关系, 图 3 是在固定脉宽情况下, 光斑尺寸和光能流量之间的关系。从图 2 曲线看出, 对硅光电子开关, 在毫微秒脉宽光束照射此装置时, 硅材料表面承受光能约 1 J/cm^2 以上, 而对微微秒脉宽光束, 承受光能急趋减小。具体说, 若脉冲持续时间相差 10 倍的话, 则承受的能量接近 $\sqrt{10}$ 倍, 相对应的功率是小 3 倍。图 3 曲线中具体两种脉宽内 a 和 E 的对应变化也反应了这个问题。依据以上分析结果, 对测量高于 $1 \cdot 10^{-6}$ 信噪比值时, 原则上, 硅表面承受的光能流量不能超过 120 mJ/cm^2 左右, 具体说, 根据硅光电子开关硅材料的具

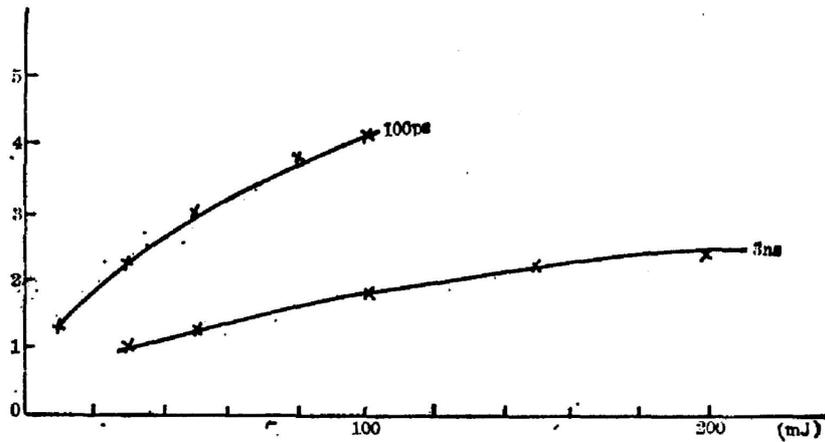


Fig. 3 Dependence of laser spot radius a on the light energy E for two different pulse duration

体尺寸和照射光脉冲宽度, 合适匹配 a 、 t 和 E 三个量, 就可以很正常的使用这个装置, 不发生该介质表面的破坏了。

最后, 利用(3)式, 推算得到在 $a=0.05$ cm, $E=1.5$ mJ 时, 温度 $T \approx 1.4 \times 10^4$ K, 已远超过硅被破坏的温度阈值, 所以烧毁的迹象已很明显。实验确实如此。

国防科技大学学生齐相参加了部分计算, 有关硅的表面破坏问题, 谭维翰、余文炎两位给予了启发和帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈兰荣, 朱鑫铭等; 《激光》, 1982, 9, No. 4 (Apr), 250.
- [2] 支婷婷, 陈兰荣; 《光学学报》, 1983, 3, No. 4 (Jul), 369.
- [3] M. Srećković, B. Vedlin *et al.*; *Optics and Laser Technology*, 1984, 16, No. 3 (Jun), 145.
- [4] B. J. Thompson, J. C. Owens *et al.*; *Laser Applications*, (Academic Press New York and London, 1971), Vol. 1.

**Discussion of measuring signal-noise ratio of high power
laser pulse using silicon photoelectronic switch**

ZHI TINGTING AND CHEN LANYONG

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 31 July 1986)

Abstract

The laser damage of silicon in silicon photoelectronic has been investigated with a $1.06\ \mu\text{m}$ laser. Laser pulse duration is 50 ps and energy is 20 mJ/pulse. Calculations show that the damage occurs at the silicon surface and depend on pulse duration time, laser energy flux and manner of the laser irradiation. The experimental result is in agreement with the theoretical analysis.

Key Words: optoelectronic switch; photoconductivity; signal noise ratio.