

非晶形半导体中光激载流子的弛豫和捕获

J. Kuhl, E. O. Göbel, W. Maier, A. Jonietz

(德意志联邦共和国马-普固体研究所, 斯图加特)

非晶形硅和砷化镓用一个强的 200 fs 光脉冲激发后, 用激发和探针技术测到了它们之中的光感生光学吸收和反射率对时间的依赖关系。一个冲击的脉冲锁模若丹明 6G 环形激光器在 619nm 提供了两个 100fs 的脉冲输出束, 其重复频率为 114MHz, 平均功率为每束 35mW, 两个输出束的偏振态互相垂直, 其中一束用于泵浦, 一束作为探针束。将探针束的强度减少到约为泵浦束强度的 10%。

在透明的基板上溅射 0.1-0.2 μm 厚的 $\alpha\text{-Si}$ 和 $\alpha\text{-GaAs}$ 薄膜作为样品。调整样品的厚度使入射探针光强的透过率为 10-20%。将两光束在样品上聚焦成直径为 25 μm 的一点。对应于数量级为 10^{-4} - 10^{-5} 的样品反射率和吸收的载流子感应变化, 其光生载流子密度的范围为 10^{18} - 10^{19}cm^{-3} 。在这个小信号上叠加了一个强得多的光学常数的温度感应变化, 这是由于泵浦光束加热了样品。用一个快速电子调制器对泵浦光束进行 100kHz 的斩波, 用一个硅光二极管和一个锁相放大器探测透射和反射探针光束强度的感应调制。输出信号最后被贮存在多道分析器中, 这个多道分析器可将光学延迟线中平移阶段的几轮信号作平均。调制晶体中的色散使泵浦光束加宽到 200 fs。

对于一个 2100 \AA 厚的 $\alpha\text{-Si}$ 薄膜, 它的光感应反射率和吸收是泵浦和探针脉冲之间延迟的函数。和实验的时间分辨率一样, 延迟线的零点也由泵浦和探针脉冲的交叉相关表明, 正如从一个厚 150 μm 的 KDP 晶体中二次谐波产生得到的一样。直到泵浦之前的探针脉冲打在样品上, 反射率曲线反射大约 30% 的正常样品反射率。然而, 一当探针和泵浦束重叠, 反射率下降, 这是由于等离子频率位移而引起的。频率位移是由于泵浦产生了自由载流子。

反射率相对改变 $\Delta R/R$ 的极大值大约等于 -4.4×10^{-5} , 这是在 500fs 的延迟下测到的, 对应的载流子密度为 $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 。这与从泵浦脉冲能量和吸收体积估计的 $3.7 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的数值很相符。从第一个 1.5ps 之内信号的指数衰减得到自由载流子的寿命为 $0.8 \pm 0.2\text{ps}$ 。在后面的时间内(对于第一个 10ps, 时间常数是 $2.5 \pm 0.5\text{ps}$)得到的反射率的较慢的降低可能是由于来自浅阱的载流子的热的重激活。透射率相对降低 $\Delta T/T$ 的极大值是 -1.4×10^{-4} , 而且透射率信号以 $0.7 \pm 0.2\text{ps}$ 的时间常数快速衰减到一个较低值(大约 $(\Delta T/T)_{\text{max}}$ 的 50%), 然后持续 50ps, 透射率信号中的快速成份再一次反映了自由载流子的捕获。因为透射率的初始下降是由于自由载流子感应使吸收增加。相继地信号的较慢成份必须归咎于由捕获载流子带来的透射率变化。在定态(被捕获)内的弛豫比扩展(自由)态进展得慢得多。

对应于 $6 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 等离子体密度, 在 $\alpha\text{-GaAs}$ 中, 反射率变化 $\Delta R/R$ 的极大值约等于 -10^{-4} 。与 $\alpha\text{-Si}$ 对比, 在开始的快的期间内反射率信号不增加到正常样品反射率, 但是有一个明显的成份, 它的时间常数相当低($\tau \approx 3.0 \pm 0.5\text{ps}$)。这些数据表明了与 $\alpha\text{-Si}$ 的情况相反, 初始产生的自由载流子仅有 50% 被快速捕获(载流子寿命 $[0.6 \pm 0.2\text{ps}]$), 它可能象征在 $\alpha\text{-GaAs}$ 中浅的陷阱出现了饱和。