光辐照下线阵 HgCdTe 探测器载流子分布与电场演变仿真研究

Simulation Study on Carrier Distribution and Electric Field Evolution in HgCdTe Linear Array Detectors under Laser Irradiation

邓小红[1]，王睿[1*]

[1]国防科技大学，湖南 长沙，410073

摘要

以n-on-p型512×1线阵 HgCdTe 探测器为例，构建二维半导体器件仿真模型，模拟了1064 nm、20 ns脉冲激光在不同功率密度范围内的载流子分布与内建电场演化过程。在研究中保证模型合理性基础上简化探测器结构：仅针对探测器光敏芯片结构建模；忽略P电极和N电极等较薄的连接金属层厚度。结果表明：光生载流子聚集区位于像元正上方，呈近似半圆形分布，浓度沿深度遵循 Beer–Lambert 衰减；功率密度超过临界值后，内建电场Y分量由正变负，PN 结丧失分离能力。

关键词：HgCdTe 探测器；高斯脉冲；载流子分布；内建电场；PN 结消失

1 引言

光伏（PV）型 碲镉汞（HgCdTe）探测器因带隙组分可调、量子效率高、响应波段覆盖短波至甚长波红外，已成为第二代、第三代红外焦平面阵列（IRFPA）的主流技术[1-2]。光辐照下，易诱发开路电压随功率密度增大而下降[3]，公共P极电压变化[4]，探测器出现串扰，点、线、面损伤，影响探测器应用的广度和深度。为进一步分析光辐照对探测器的影响，对探测器在光辐照下的载流子分布与内建电场演化过程进行研究。

2 仿真模型

2.1 几何建模

以PV型512×1线阵HgCdTe红外探测器为研究对象，采用n-on-p平面结，辐照光源选择了波长1064nm、脉冲宽度20ns的脉冲激光，以二维仿真模型开展研究。器件共集成512个像元，按奇偶两列排布，每列256个像元，呈品字形排列；像元外侧对称分布公共P电极，P电极施加偏置电压为2V。器件工作温度为77K，像元尺寸为28μm×28μm，相邻像元中心距为56μm。光源辐照方式采用背照式辐照，脉冲开始后10ns达到峰值，光斑辐照中心与像元的x轴坐标一致。

为提升计算效率，简化探测器结构：

（1）仅针对探测器光敏芯片结构建模；

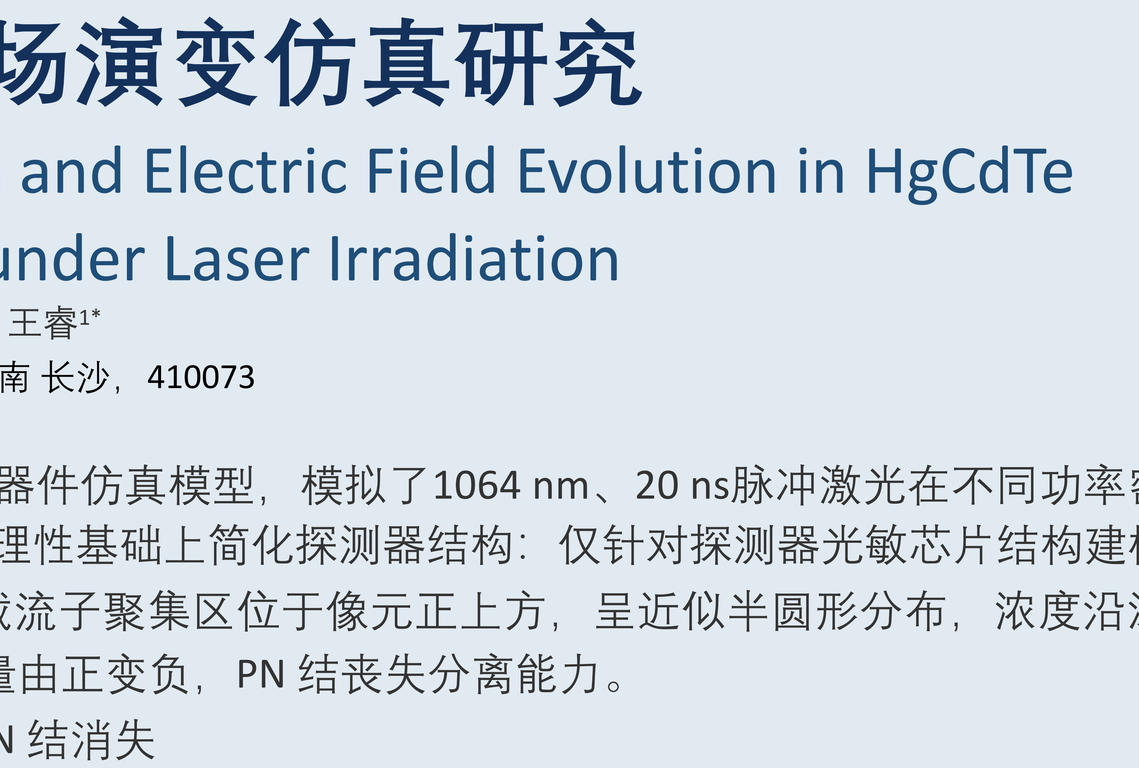
（2）忽略P电极和N电极等较薄的连接金属层厚度。

2.2 理论建模

光生载流子输运过程采用漂移-扩散模型进行描述，包括电子/空穴连续性方程，电场变化由泊松方程确立，研究中考虑Auger 与 SRH 复合。

3 典型结果

针对光斑直径d=28μm，在不同激光功率密度下，仿真研究了探测器的载流子分布与电场演变过程。仿真研究中，激光辐照中心位置始终保持不变，考察PN结内部垂直Y方向内建电场，定义内建电场正方向为由N区指向P区。



（a）1×10²W/cm²　（b）1×10⁴W/cm²

（c）1×10⁵W/cm²　（d）1×10⁶W/cm²

图 1 不同功率密度下载流子分布

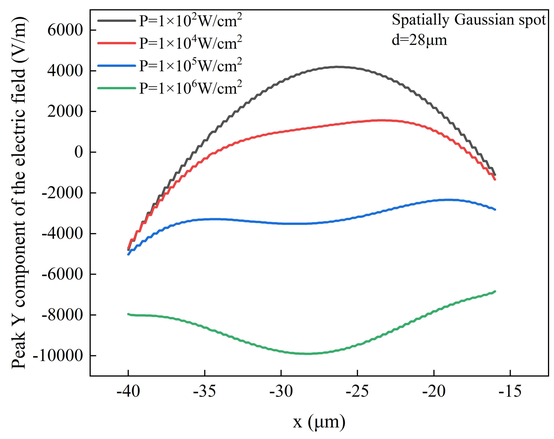


图 2 不同功率密度下内建电场Y分量分布

结果表明：

（1）当功率密度超过1×10⁴W/cm²，在像元正上方形成以光斑中心为圆心、近似半圆形的电子聚集区，PN结两侧载流子浓度梯度下降，PN结消失；增大功率密度，电子聚集区扩大，仍位于像元正上方，浓度沿深度遵循 Beer–Lambert 衰减。

（2）当功率密度由1×10²W/cm²逐步增加至1×10⁶W/cm²，内建电场Y分量逐渐下降，将由正变负，PN结丧失分离能力。

4 结论

线阵HgCdTe探测器在1064nm、20ns脉冲激光辐照下出现PN结消失。当功率密度不断增大，光生载流子聚集于像元正上方，分布近似半圆形；内建电场Y分量持续下降，超过临界阈值后由正值变为负值，PN结消失，丧失载流子分离能力。

参考文献

[1] Lawson W D, Nielsen S N, Putley E H, et al.Preparation and properties of HgTe and mixed crystals of HgTe-CdTe[J]. Journal of Physics and Chemistry of Solids,1959,9(3-4):325-329.

[2] Rogalski A. HgCdTe infrared detector material: history, status and outlook[J]. Reports on Progress in Physics, 2005,68(10):2267-2336.

[3] 杨海峰,王睿,邱伟成,等.线阵碲镉汞探测器致损单元反常响应机理研究[J].半导体光电,2016,37(2):181-185.

[4] 乔帅, 王睿, 侯孝成. 光伏型HgCdTe 阵列探测器的电学串扰[J]. 光学学报,2023,43(4): 0404002.