

微氮硅中热施主和浅热施主的低温远红外研究

杨德仁 阙端麟

(浙江大学高纯硅及硅烷国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 利用低温(8K)远红外吸收技术,研究了硅单晶中氮杂质对热施主及浅热施主形成的影响,指出氮原子有抑制硅中热施主形成的能力,而微氮硅中的浅热施主和氧-氮复合体直接相关。

PACC: 0765G, 6170R, 6590

1 前言

在350—550℃低温退火时形成的硅中热施主(thermal donor)影响着器件的电学稳定性,自Fuller等人^[1]发现其效应以来,又被研究多年,但由于本身的复杂性,其结构、组态和杂质影响等许多问题迄今仍无定论,一直是研究者关注的目标。而硅单晶中氮原子有着许多独特的性质,它在硅中能钉扎位错,提高硅片机械强度,还能抑制硅中的漩涡缺陷^[2,3],目前微氮硅单晶已在生产上得到应用。但国内外很少有研究者报道硅中氮杂质对热施主的作用^[4]。本文利用低温(8K)远红外吸收技术,采用掺氮和非掺氮硅样品对比实验,研究微氮硅单晶中的热施主和浅热施主,获得了新的结果。

2 实验

研究中采用减压充氮工艺^[5]拉制不同氮浓度的硅单晶,晶体生长时控制生长参数,得到相互一致的热历史。同时,在氩气保护气氛下生长无氮杂质的硅单晶。样品晶向〈111〉,n型,电阻率5—10Ω·cm,样品大小10×6×3mm,双面抛光。样品首先在氩气中650℃退火1小时,去除原生的热施主,然后在450℃退火1小时,形成新的热施主,并在低温(8K)测量其远红外谱。实验利用JIR-100型红外吸收谱仪,精度1cm⁻¹,扫描300次以求平均。实验样品的杂

* 国家教委博士点基金资助项目

杨德仁 男,1964年生,副教授,目前从事硅材料中杂质与缺陷的研究

阙端麟 男,1928年生,中国科学院院士,教授,博士生导师,目前从事硅材料科学和技术方面的研究工作

1994年1月7日收到初稿,1994年5月10日收到修改稿

质浓度在常温下,用 1107cm^{-1} 、 963cm^{-1} 和 607cm^{-1} 吸收峰强度分别计算,其中氧浓度为 $7.6\text{--}8.4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$,碳浓度为 $2.0\text{--}3.0\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$,氮浓度如下:

$$a:[N]=11.4\times 10^{15}\text{cm}^{-3} \quad b:[N]=3.6\times 10^{15}\text{cm}^{-3} \quad c:[N]=0 \quad (\text{未掺氮})$$

3 结果和讨论

图 1 是不同样品在 450°C 退火 1 小时后 $350\text{--}500\text{cm}^{-1}$ 范围内的远红外吸收峰谱图,曲线(c)是样品 c 的吸收峰,有明显的数条吸收峰线在 $350\text{--}500\text{cm}^{-1}$ 范围内,代表着有不同组态的热施主形成,而曲线(a)和(b)是含氮样品 a 和 b 的远红外吸收峰,显然,在此范围内无任何有关热施主的峰线出现,这说明了氮原子对硅中热施主的形成有抑制作用。

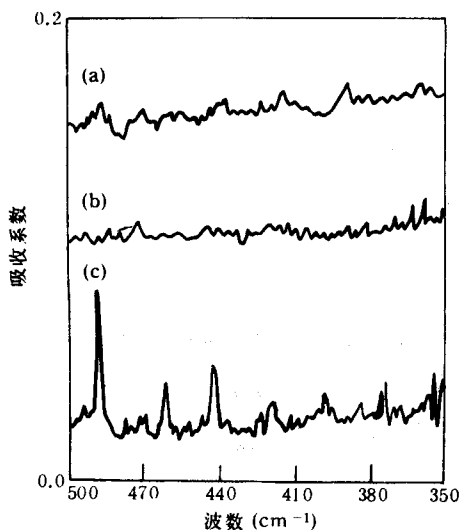


图 1 样品相关热施主的远红外吸收谱图

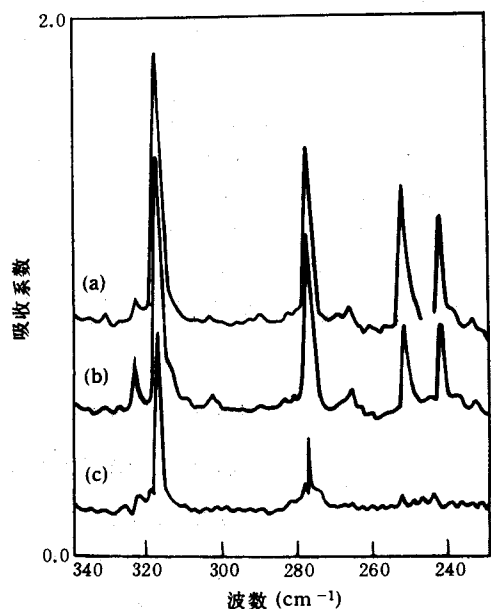


图 2 样品相关浅热施主的红外吸收谱图

Suezawa 等人^[6]在研究硅单晶中氧-氮复合体的作用时,指出在远红外 $200\text{--}300\text{cm}^{-1}$ 范围内有 5 个谱线和氧-氮复合体相关,其中重要的可分辨清的有 3 个峰线,即 240cm^{-1} 、 242cm^{-1} 和 249cm^{-1} 峰线,有着浅热施主作用。但 Griffin 等人^[4]在研究氮对热施主作用时,认为高氮样品 ($[N]=9\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$) 在低温 450°C 退火时,就不会出现上述峰线,认为这些浅热施主和氧-氮复合体无关。本实验在和 Griffin 等人实验条件相近的低温退火时,测得样品 $220\text{--}340\text{cm}^{-1}$ 范围的远红外谱(图 2),图中 279cm^{-1} 、 315cm^{-1} 等峰是 n 型掺杂剂磷的吸收谱,从图中可见三个样品都是磷掺杂,有同样吸收峰出现,掺杂量略有区别;氮样品 a、b 有明显的 240cm^{-1} 、 242cm^{-1} 和 249cm^{-1} 吸收峰出现,且高氮 a 样品的吸收峰线要高于低氮样品 b,而无氮样品 c 则不出现这些峰线。显然,在低温热施主形成温度退火时,除了有热施主形成,含氮样品中还会有和氧-氮复合体相关的浅热施主出现,即使氮浓度高达 $11.4\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$,相关峰线照常出现。这结果和 Griffin 等人的结论不同,在他们的实验中,n 型高氮样

品($[N]=9\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$)的远红外吸收图上,既没有和浅热施主相关的 240cm^{-1} 、 242cm^{-1} 和 249cm^{-1} 等峰线,同时也没有出现 279cm^{-1} 和 315cm^{-1} 的磷掺杂的吸收线,而他们其它样品和本实验中的样品都具有磷吸收峰线.

4 结 论

微氮硅单晶远红外低温(8K)吸收光谱的研究表明,氮原子对硅中热施主的形成有抑制作用,同时产生和氧-氮复合体相关的浅热施主.

致谢 感谢日本东北大学金属材料研究所 Koji Sumino 教授在低温远红外测量上的帮助.

参 考 文 献

- [1] C. S. Fuller, N. B. Ditzenger, N. B. Hannay and E. Buchier, *Phys. Rev.*, 1954, **96**:833.
- [2] Deren Yang, Lun Lu, Liben Li, Hengnian Yao and Duanlin Que, *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **59**:1227.
- [3] K. Sumino and M. Imai, *Phil. Mag.*, 1983, **A47**:753.
- [4] J. A. GRiffin, J. Hartung and J. Weber, *Mater. Scie. Forum*, 1989, **38-41**:619.
- [5] Que Duanlin, Li Liben, *et al.*, *Sci. China*, 1991, **A34**:1017.
- [6] M. Suezawa, K. Sumino, H. Harada and T. Abe, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1986, **25**:L859.

Study of Low Temperature Far Infrared Absorption Spectrum on Thermal Donor and Shallow Thermal Donor in Nitrogen-Doped Silicon

Yang Deren and Que Duanlin

(*National Laboratory of High Purity Silicon and Silane, Zhejiang University, Hangzhou 310027*)

Received 7 Janury 1994, revised manuscript received 10 May 1994

Abstract The effect of nitrogen impurity in single crystal silicon on thermal donors and shallow thermal donors has been investigated by means of low temperatrue (8K) far infrared absorbtion trchnique. It if considered that nitrogen atoms in silicon can suppress the formation of thermal donor, an the shallow thermal donors are depended directly on the oxygen-nitrogen complexes.

PACC: 0765G, 6170R, 6590