

# 硅-金刚石系统的离子束混合和欧姆接触

方 芳

(中国科学院上海冶金研究所离子束开放研究实验室, 上海)

S. S. Lau

(美国加州大学圣地亚哥分校)

1989年5月31日收到

用离子束混合  $\text{Si}(700\text{\AA})/\text{C}$  样品, 在天然 IIb 型金刚石上形成了梯度能带接触。选用  $\text{Ge}^+$  为注入离子, 在能量  $120\text{keV}$ , 剂量  $2.0 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$ , 温度  $700^\circ\text{C}$  下进行离子束混合。Rutherford 背散射显示: 有 3—4% 的 Si 与金刚石混合。红外吸收谱发现了 Si-C 键的形成, 这表明形成了 Si/SiC/C 的梯度结构。 $I-V$  特性说明了离子束混合和高温热退火有助于欧姆接触的形成。而没有经过离子束混合的样品显示了  $I-V$  开路特性。

主题词 离子束混合, 欧姆接触, 梯度能带

## 一、引言

在 IV 族半导体中, 由于金刚石特殊的电学、物理和化学性质引起了人们的兴趣。这些性质使金刚石被用来制作高压光电开关<sup>[1]</sup>, 空间光学器件<sup>[2]</sup>和高温器件<sup>[3]</sup>。由于金刚石的能带宽度很宽 ( $E_g = 5.5\text{eV}$ ), 在金刚石上制作低阻欧姆接触较为困难。大约  $4\text{eV}$  的势垒高度<sup>[4]</sup>使得金属淀积在抛光的 n型金刚石上难以形成好的欧姆接触。本工作利用在 III-V 族半导体技术中的梯度能带的概念, 将具有较小能带宽度的 Si 淀积在金刚石上, 然后用离子束混合和高温热退火在 Si 和金刚石之间形成 SiC, 从而形成 Si/SiC/C 结构, 使能带宽度从金刚石的  $5.5\text{eV}$  降到 SiC 的  $2.9\text{eV}$ , 然后再降到 Si 的  $1.1\text{eV}$ , 而通常在具有较窄的能带宽度的半导体材料上制备欧姆接触较为容易。

## 二、实验

本实验采用电阻率为  $10000\Omega\cdot\text{cm}$  的天然、无色、IIb 型金刚石。样品尺寸  $4 \times 4 \times 0.25\text{mm}$ 。样品在  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4 = 1:1:1$  溶液中烧煮 30 分钟以除去表面可能存在的任何非晶层。然后依次在三氯乙烯、丙酮、酒精溶液中超声清洗及去离子水冲洗, 氮气吹干后放入高真空( $2 \times 10^{-8}$  托)电子束蒸发装置中蒸发  $700\text{\AA}$  左右的 Si。

离子束混合选用  $\text{Ge}^+$  作为注入离子, 能量为  $120\text{keV}$ , 剂量为  $2 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$ , 温度在  $700^\circ\text{C}$ 。采用光学高温计来控制、测量离子注入过程中的样品温度。离子注入后, 样品在形成气( $15\% \text{H}_2, 85\% \text{N}_2$ )中  $1200^\circ\text{C}$ , 退火 1 小时。然后淀积  $800\text{\AA}$  Au, 在  $400^\circ\text{C}$  下退火

以形成接触。采用 $2\text{MeV} {^4\text{He}}^{++}$  Rutherford 背散射研究样品的离子束混合及高温退火前后的变化，红外吸收分析 $\text{Si}/\text{C}$  的结构变化，I-V 特性了解样品的电学性质。

### 三、结果和讨论

#### (1) $\text{Si}/\text{C}$ 的离子束混合

图 1 是 $\text{Si}/\text{C}$  样品在 $\text{Ge}^+$  离子束混合前后的 $2\text{MeV}, {^4\text{He}}^{++}$  的 Rutherford 背散射谱。 $\text{Ge}^+$  注入能量 $120\text{keV}$ ，剂量 $2 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$ ，样品温度 $700^\circ\text{C}$ 。离子束混合后，大约有 3—4% 的 Si 与金刚石混合，然后将样品在形成气中， $1200^\circ\text{C}$  退火 1 小时，Si 的分布退火后几乎不变，而 Ge 的分布向样品表面移动。未经离子束混合的样品在温度高达 $1200^\circ\text{C}$  时在 Si 和金刚石界面仍无反应。

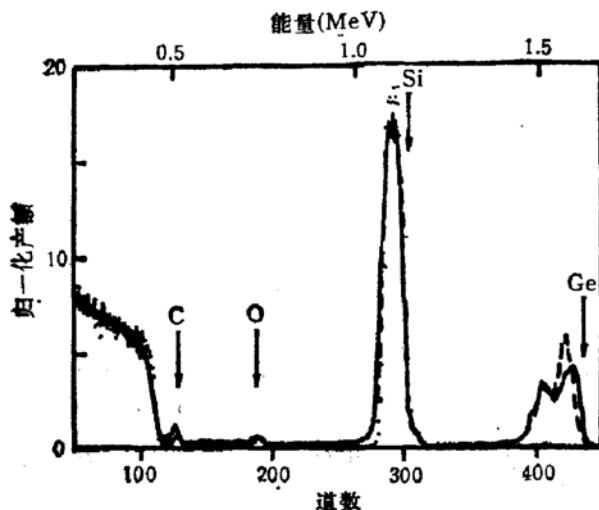


图 1  $60^\circ$  转角的 $\text{Si}/\text{C}$  样品在离子束混合和高温热退火前后的 $2\text{MeV}, {^4\text{He}}^{++}$  的 Rutherford 背散射谱  
……原始样品；—— $120\text{keV}, 2 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$ ,  $\text{Ge}^+$  在 $700^\circ\text{C}$  时注入样品；—— $\text{Ge}^+$  注入后，经 $1200^\circ\text{C}$ , 1 小时在形成气中退火后的样品

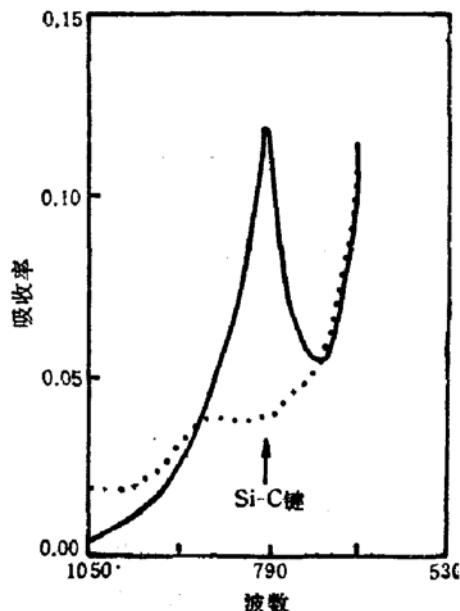


图 2  $\text{Si}/\text{C}$  样品在离子束混合和高温热退火前后的红外吸收谱  
……原始样品；——离子束混合和高温热退火后的样品

#### (2) $\text{SiC}$ 的形成

用波长在 $2\text{--}25\mu\text{m}$  之间的红外光吸收测量来研究 $\text{SiC}$  的形成及样品在离子束混合和高温热退火以后的结构变化。由于光子和横向光声子的相互作用， $\text{SiC}$  在 $797\text{cm}^{-1}$  有一个很强的吸收带<sup>[1]</sup>。图 3 是 $\text{Si}/\text{C}$  样品在 $700^\circ\text{C}, 120\text{keV}, 2 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$   $\text{Ge}^+$  离子束混合和 $1200^\circ\text{C}$ , 1 小时在形成气中热退火前后的红外吸收谱。在离子束混合和高温热退火以后，一个明显的吸收带在 $797\text{cm}^{-1}$  附近出现，这显示 $\text{Si}-\text{C}$  键已在样品中形成。金刚石是相当稳定的，离子束混合有助于打破 C-C 键，形成新的结构。

#### (3) 欧姆接触的形成

通常金属-半导体欧姆接触的形成是靠降低有效势垒高度或在靠近半导体表面高掺杂。在高掺杂的情况下，尽管势垒高度没有改变，但势垒宽度大为减小，使半导体中的载

流子可隧道穿过势垒。在诸如金刚石这样的宽带半导体上难以形成欧姆接触是因为: 象金刚石这样的共价键半导体, 势垒高度不取决于金属的功函数<sup>[4]</sup>, 因而不能靠选择金属的办法来降低势垒高度。另外, 在金刚石表面要产生一层高掺杂层也较为困难。因而, 在这一工作中提出了采用 Si/SiC/C 结构, 形成梯度能带来制备欧姆接触。

离子束混合和热退火形成的 Si/SiC/C 样品得到了线性的 I-V 曲线。显示了良好的欧姆接触, 这在图 3 中可见。而没有进行过离子束混合的样品, 甚至在 1200°C 的高温下退火后, 依然得到了 I-V 的开路特性。

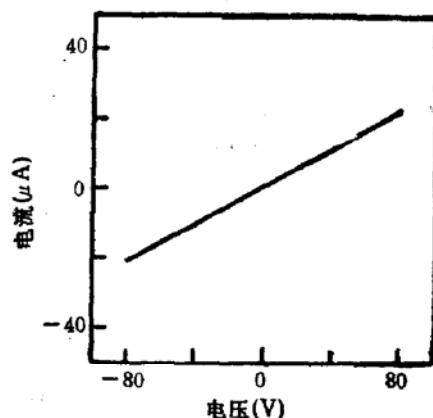


图 3 Si/C 样品在离子束混合 ( $\text{Ge}^+$ , 120 keV,  $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ , 700°C) 和 1200°C, 1 小时退火后的 I-V 特性

### 参 考 文 献

- [1] P. K. Bharadwai, R. F. Code, H. M. van Driel and L. Walentynowicz, *Appl. Phys. Lett.*, **43**, 207 (1983).
- [2] R. W. Ditchburn, *Optica Acta*, **29**, 355 (1982).
- [3] M. W. Geis, D. D. Rathman, D. J. Ehrlich, R. A. Murphy and W. T. Lindley, *IEEE Electron Device Letters*, **EDL-8**, 341 (1987).
- [4] C. A. Mead, *Solid-State Electronics*, **9**, 1023 (1966).
- [5] D. W. Feldman, J. H. Parker, Jr., W. J. Choyke and L. Patrick, *Phys. Rev.*, **173**, 787 (1968).

## Ohmic Contacts Formed by Ion Mixing in Si-Diamond System

Fang Fang

(Ion Beam Laboratory, Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

S. S. Lau

(University of California, San Diego, U. S. A.)

### Abstract

Graded band-gap contacts to natural type III diamond were formed by ion beam mixing of Si(700 Å)/Diamond samples. Ion mixing was carried out using 120 keV  $\text{Ge}^+$  ions at a dose of  $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  at temperature of 700°C. Rutherford backscattering spectra show that about 3 to 4 percent of the Si layer was mixed into the diamond. Si-C bonds were observed by infrared absorption measurements, indicating the formation of a Si/SiC/Diamond graded structure. I-V characteristics show that well behaved ohmic contacts can be formed by ion mixing with a subsequent thermal annealing. Samples without ion mixing show open circuit behavior.

**Key words** ion mixing, ohmic contacts, graded band-gap