

Au-Si 共晶合金液态金属离子源

张立宝 葛 璞 马祥彬 凌仲珪

(中国科学院半导体研究所)

1985年9月2日收到

采用原子比为 Si(31%), Au(69%) 的金硅合金, 研制成了 Au-Si 共晶合金液态金属离子源。描述了该离子源的制作方法、 $I-V$ 特性、不同源电流情况下各种离子流峰值的变化。讨论了质谱分析结果。长时间地测量了离子流各组分 Si^+ 、 Si^{++} 、 Si_2^+ 、 Au^+ 、 Au^{++} 的百分比变化情况。源的寿命大于 140 小时。

近年来聚焦离子束 (FIB) 技术作为半导体器件制造的一项新技术, 受到人们的极大关注, 获得了飞速发展^[1]。聚焦离子束装置以及用 FIB 进行表面微区分析^[2]、无掩膜离子注入^[3,4]、腐蚀^[5]、光刻^[6]及选择性淀积^[7]的研究也都取得了进展。FIB 的无掩膜离子注入由于能实现亚微米器件制造被人们认为是一种最有发展前途的技术。用 FIB 技术成功地研制出了硅 NPN 晶体管^[8]、亚微米栅 FET^[9]及光集成器件^[10], 更显示了该技术的优越性。

液态金属离子源由于其亮度高、有效源尺寸小、容易被聚集成微细束, 而广泛使用于聚焦离子束设备, 成为该技术的关键。Au-Si 合金液态金属离子源由于能产生 Au^+ 、 Si^{++} 等离子, 在离子束微刻蚀及 GaAs 器件制造中有重要用途^[11,12]。我们在 Ga 液态金属离子源的基础上^[13,14], 研制成功了 Au-Si 合金液态金属离子源。本文将叙述该离子源的制作方法和主要特性。

离子源由发射极针尖、锥形螺旋加热器及吸极三部分组成。发射极针尖用 $\phi 0.3\text{ mm}$ 钨丝电解腐蚀而成, 尖端曲率半径小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。发射极针尖置于吸极孔中心上方 $0.4\sim1\text{ mm}$ 处。

采用原子比为 Si(31%), Au(69%) 制成融点为 370°C 左右的低融点合金。合金放入锥形螺旋加热器, 加热融化后, 浸润发射极针尖, 制成可供使用的离子源。

图 1 示出了 Au-Si 离子源的 $I-V$ 特性。当电压超过某一临界值 V_c 时离子源开始发射, 电流随电压急剧增加。与源电流 I_s 相比, 中心轴附近的电流 I_i 增加缓慢, 离子束的透过率 I_i/I_s 随电压增加呈减少趋势, 最后达到一平衡值。透过率的减小可能是由于受空间电荷的影响, 随离子流的增加, 离子束的角度分布也增大的缘故。从图 1 可知阈值电压 V_c 为 4 kV 。实验表明 V_c 值与针尖的形状、表面状态、发射极针尖与吸极间的距离、吸极孔的形状和大小等均有关系。

我们采用 90° 双聚焦扇形磁分析器测量了发射离子的质谱。图 2 示出了在源电流 $25\text{ }\mu\text{A}$ 时的测量结果。由图可以看出发射的离子包括 Si^{++} 、 Si^+ 、 Si_2^+ 、 Au^{++} 、 Au^+ 等。各

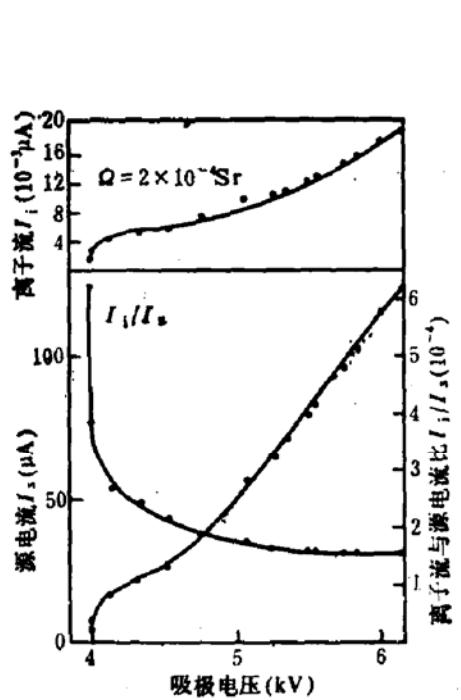
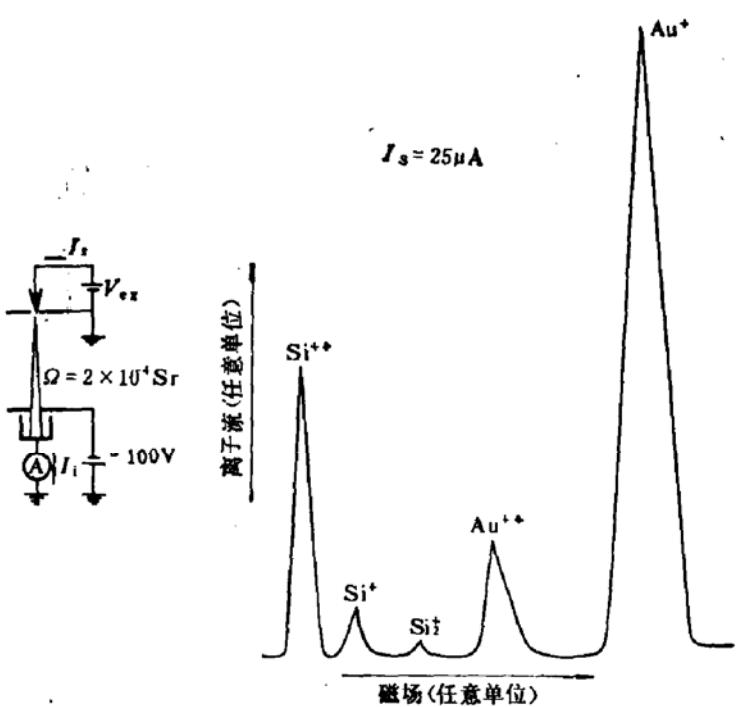
图 1 Au-Si 共晶合金离子 $I-V$ 特性曲线

图 2 Au-Si 共晶合金液态金属离子源质谱

离子束流的百分比为: $\text{Si}^{++}:\text{Si}^+:\text{Si}_2^+:\text{Au}^{++}:\text{Au}^+ = 16\%:6\%:2\%:6\%:70\%$ 。 Si^{++} 强度大于 Si^+ , Au^+ 强度大于 Au^{++} 。 Si^{++} 和 Au^+ 离子都有足够的强度可供聚焦成微细束使用。液态金属离子源的离子发射机理, 虽已提出一些模型, 由于真实的发射过程比较复杂,(可能是多种效应的综合), 至今没有一个完满的解释。但使用单质金属时液态金属离子源单电荷与双电荷离子束流的强度比一般可由电场蒸发现象定性说明。按照电场蒸发现象, 单电荷离子和双电荷离子蒸发电场强度是不一样的。设他们分别为 F_1 和 F_2 , 若 $F_2 > F_1$, 则单电荷离子流强, 反之, 若 $F_1 > F_2$, 则双电荷离子流强。由文献可知, 对 Au $F_1 = 5.3 \text{ V}/\text{\AA}$, $F_2 = 5.4 \text{ V}/\text{\AA}$ ^[12], 对 Si $F_1 = 4.7 \text{ V}/\text{\AA}$, $F_2 = 3.4 \text{ V}/\text{\AA}$ ^[16]。因此在单质情况下, 发射的离子流 $\text{Au}^+ > \text{Au}^{++}$, $\text{Si}^{++} > \text{Si}^+$ 。使用共晶合金时虽无法像单质金属那样计算出 F_1 , F_2 , 但我们的测量表明 Au-Si 共晶合金离子源情况下与使用单质金属时有相同的规律 $\text{Au}^+ > \text{Au}^{++}$, $\text{Si}^{++} > \text{Si}^+$ (即单质金属时离子蒸发电场低的一方, 在共晶合金离子源时发射强度也大)。但在共晶合金时 $\text{Au}^{++}:\text{Au}^+ = 6\%:70\%$ 远大于单质金属情况下观察到的 $\text{Au}^{++}:\text{Au}^+ = 35\%:55\%$ ^[17]。

我们测量了源电流 I_s 从 $25 \mu\text{A}$ 增至 $175 \mu\text{A}$ 时, 各离子束流峰值的变化。测量结果表明, 随源电流增加各离子束流都缓慢增加, 但各离子束流的比例却发生不同的变化。由图 3 可以看出, 随源电流增加, Si^{++} 组分减少, Au^+ , Si^+ 组分增加, 并趋向一个饱和值。 Si_2^+ 组分始终占比例很少, 随源电流增加略有上升。古室等人曾测量了源电流为 $1 \mu\text{A}$ 和 $50 \mu\text{A}$ 时金液态金属离子源的质谱, 证明: 在低电流情况下, 双电荷离子 Au^{++} 的存在比减少^[17], 而我们的结果(图 3)表明: 当源电流由 $25 \mu\text{A}$ 增加到 $50 \mu\text{A}$ 时, Au-Si 共晶合金离子源中 Au^{++} 的存在比却随源电流增加而呈下降趋势。

在源电流 $I_s = 25 \mu\text{A}$ 的情况下, 对离子源进行了近 100 小时的质谱测量, 观察了各种离子百分比变化情况, 其结果如图 4 所示。在离子源启动一个小时左右不够稳定(图中未

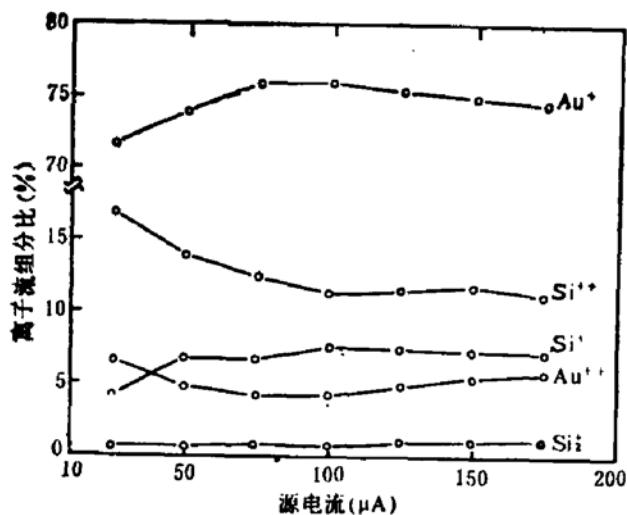


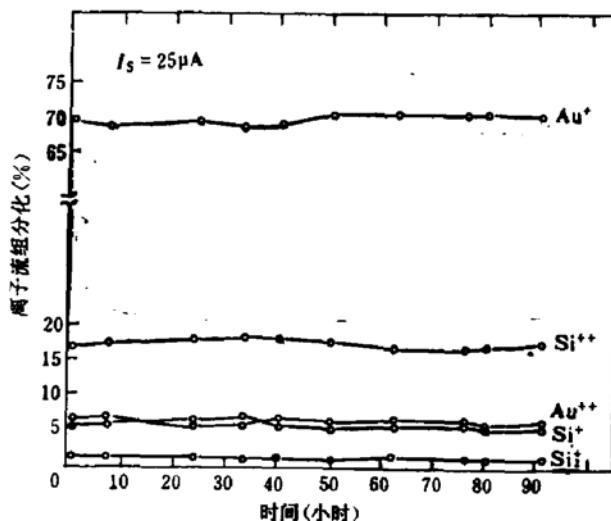
图3 各种 Si , Au 离子与总离子流之比随源电流的变化
示出). 从图中可以看出在长期使用中各离子流的组分比虽有一些起伏, 但总的说来是比较稳定的. 造成组分比起伏的原因可能与我们使用的合金不够均匀, 测量中的偶然误差有关. 我们认为在长时间的使用中总束流和各离子组分的稳定是很重要的, 这一点对今后离子源用于整机上, 保持束流的稳定是有利的.

我们对离子源进行了寿命测量, 经过大約 140 小时后, 该源仍能稳定的工作, 说明离子源的寿命至少大于 140 小时.

本离子源在研制过程中, 得到马俊如同志的关心和支持, 李金荣、王纯同志参加了部分实验工作, 在测试过程中得到北京大学宋执中、于金祥同志的指导和帮助, 作者对以上同志表示衷心的感谢.

参 考 文 献

- [1] R. L. Seliger, J. W. Ward, V. Wang and R. L. Kubena. *Appl. Phys. Lett.*, 34, 310(1979).
- [2] T. Ishitani, H. Tamura and H. Todokyo, *J. Vac. Sci. Technol.*, 20, 80(1982).
- [3] T. Shiokawa, R. H. Kim, K. Toyoda and S. Namba, *J. Vac. Sci. Technol.*, B1, 1117(1983).
- [4] E. Miyachi, H. Arimoto, H. Hashimoto, T. Furuya and T. Utsumi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 22, L287 (1983).
- [5] Y. Ochiai, K. Gamo and S. Namba, *J. Vac. Sci. Technol.*, B3, 67(1985).
- [6] T. Kato, H. Morimoto, K. Saitoh and H. Nakata, *J. Vac. Sci. Technol.*, B3, 50(1985).
- [7] K. Gamo, N. Takakura, N. Samoto, R. Shimizu and S. Namba, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 23, L293 (1984).
- [8] R. H. Reuss, D. Morgan, E. W. Green, W. M. Clark and D. B. Rensch, *J. Vac. Sci. Technol.*, B3, 62(1985).
- [9] D. B. Rensch, J. Y. Chen, W. M. Clark and M. D. Courtney, *J. Vac. Sci. Technol.*, B31, 286 (1985).
- [10] 宫内荣三, 橘木寿夫, *Semiconduction World* 1983, p.58.
- [11] K. Gamo, T. Ukegawa, Y. Inomoto, Y. Ochiai and S. Namba, *J. Vac. Sci. Technol.*, 19, 1182 (1981).
- [12] R. L. Seliger, R. L. Kubena and V. Wang, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 21, (1982), Suppl. 21—1, p3.
- [13] 马祥彬, 王纯, 陈春华, 张立宝, 李金荣, 凌仲珪, 半导体学报, 5, 211(1984).
- [14] 陈春华, 王纯, 张立宝, 马祥彬, 李金荣, 半导体学报, 5, 550(1984).
- [15] T. T. Tsong, *Surf. Sci.*, 70, 211(1978).



- [16] D. G. Brandon, *Surf. Sci.*, 3, 1(1964).
[17] 古室昌德, 真空, 第 25 卷 第 5 号 p 1—10, (日文). 1982.

Au-Si Eutectic Alloy Liquid Metallic Ion Source

Zhang Libao, Ge Huang, Ma Xiangbin, and Ling Zhonggui
(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

An Au-Si alloy ion source has been developed using the alloy with atomic ratio of 69%Au and 31%Si. The method for fabricating the ion source, the *I-V* characteristics and the change of all ion peak values with different ion source currents are described. The results of mass spectrum analysis are discussed. The atom flux ratio (%) of ion compositions Si^+ , Si^{++} , Si_i^+ , Au^+ and Au^{++} are measured for a long period of time. The lifetime of the source is over 140 h.