

声表面波器件薄膜电极脱落的电子探针分析*

阮世池*

(电子科技大学材料微观分析中心 成都 610054)

【摘要】 电子探针显微分析法(EPMA)能把试样微区形貌分析与微区成分分析有机地结合起来。利用这一特点,文中对Au/Cr/Bi₁₂GeO₂₀声表面波器件作了显微分析研究,探明了薄膜电极脱落发生在Cr膜与Bi₁₂GeO₂₀基片的界面上。由于Cr膜与基片间是弱的简单附着机制,并且Cr膜承受着强烈的内应力,最终导致薄膜电极脱落。

关键词 电子探针显微分析; 薄膜电极; 基片; 附着力; 内应力; 脱落
中图分类号 TN 16; TN 303; TN 304. 055

声表面波(SAW)技术是 60 年代中期发展起来的一门新兴技术,是超声学与电子学相结合的一门边缘学科。SAW 器件具有重量轻、体积小、信息容量大、信息处理快、工作频带宽以及易与集成电路匹配,能使电子设备全固体化等优点,使得这项技术一出现,立即引起许多国家的关注,并投入巨大的人力、物力进行开发研究。到 80 年代以后,已研制出各种类型的声表面波器件,如 SAW 滤波器、SAW 延迟线、SAW 存贮相关器等,并且成功地应用于军事和民用电子设备上。在 Bi₁₂GeO₂₀ 基片上镀上 Au 膜,经过光刻、腐蚀等工艺便制成一定功能的声表面波器件,Au 膜为电极。考虑到在微晶 Bi₁₂GeO₂₀基片上直接镀 Au 膜,则其附着不牢;在镀 Au 膜之前先镀上薄薄一层 Cr,希望电极与基片牢固结合,这样就形成了 Au/Cr 双层薄膜电极,这是薄膜电路中的一种典型电极形式^[1]。由于电极的质量是决定 SAW 器件的性能和可靠性的关键,在研制过程中发现 Au/Cr 薄膜电极容易脱落,造成整个 SAW 器件失效。因此,查明其脱落的原因和机理显得十分迫切和重要。本文介绍应用 EPMA 分析技术对该种 Au/Cr 薄膜电极脱落机理进行的分析研究。

1 EPMA 分析试验

用磁控溅射法在 Bi₁₂GeO₂₀基片上制得的 Au/Cr 双层薄膜电极,如图 1 所示。其附着性能差,易脱落,我们用 EPMA 法进行了微区形貌观察和成分分析。

1.1 EPMA 形貌分析

使用仪器:JSM-35C 扫描电镜。

1) 基片形貌:对尚未镀膜的 Bi₁₂GeO₂₀基片表面作形貌观察,放大 2 000 倍时全面查看,可见基片表面光滑、无划痕、微孔或沟道。在放大 10 000 倍时,才见到不明显的划痕,如图 2 所示。

2) 薄膜外表面形貌:由形貌观察可知,膜面光滑、无皱无裂,Au 膜是完整的薄膜。

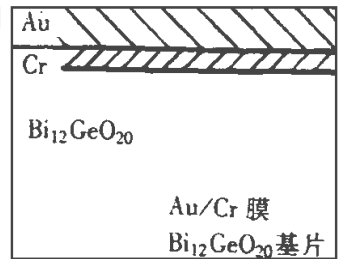


图 1 Au/Cr/Bi₁₂GeO₂₀ 结构示意图

* 1998 年 3 月 11 日收稿

* 男 57 岁 大学 副教授

3) Au/Cr/Bi₁₂GeO₂₀横断面形貌:从图 3 可见, Au/Cr 膜层之间没有明显分界面, 说明 Au/Cr 间结合良好, 而 Cr/Bi₁₂GeO₂₀之间则有明显的分界面甚至分层, 说明薄膜与基片间结合不理想。

4) 脱落膜反面形貌: 脱落膜反面(即 Cr 层)的形貌如图 4 所示, 放大 200 倍时, 能清楚地见到皱纹和开裂。

5) 脱膜后基片形貌: 如图 5 所示, 除了有少许残渣膜之外, 没有大面积的连续膜, 其余大部分表面光滑, 与没镀过膜的基片情况无大的差别。

再与 3) 联系起来看, 可以从形貌方面说明膜与基片结合不好, 薄膜脱落发生在 Cr/Bi₁₂GeO₂₀之间, 且脱落得相当彻底。

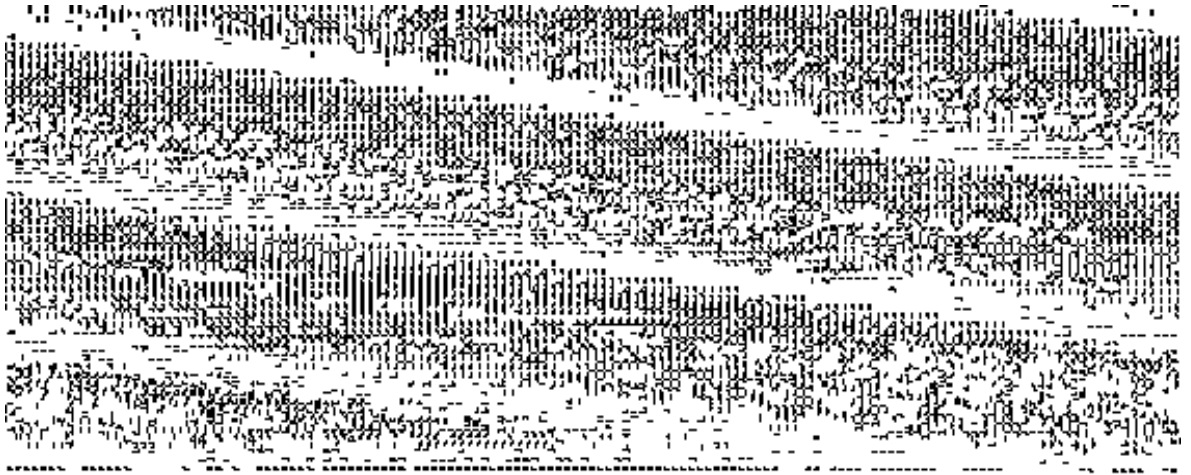


图 2 基片形貌像

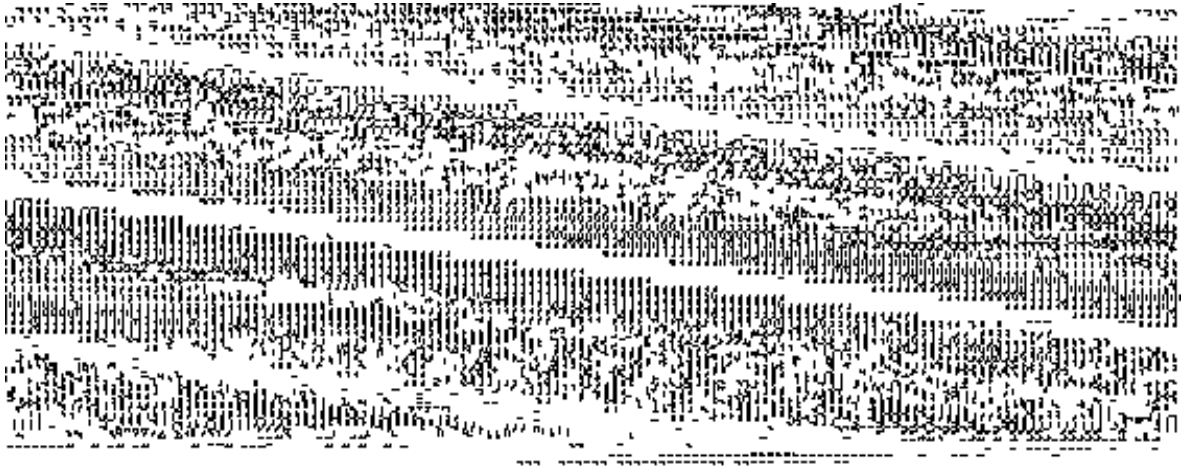


图 3 Au/Cr/Bi₁₂GeO₂₀横断面形貌像

图 4 Cr 层形貌像

图 5 脱膜后基片形貌像

1.2 EPMA 成分分析

使用仪器: 35C—WDS 波谱仪

1) 脱落膜反面(Cr 层面)定性成分分析: 分析的目的是查明是否有基片成分(Ge 或 Bi)扩散到 Cr 层中生成扩散层。通过实验证明, 除了薄膜主体成分 Au 和 Cr 之外, 并没发现基片成分的扩散。

2) 脱膜后基片成分定性分析: 目的是查明薄膜成分 Au 和 Cr 是否向基片扩散, 通过仪器仔细

检测, 并没发现薄膜成分 Au 或 Cr 向基体扩散。

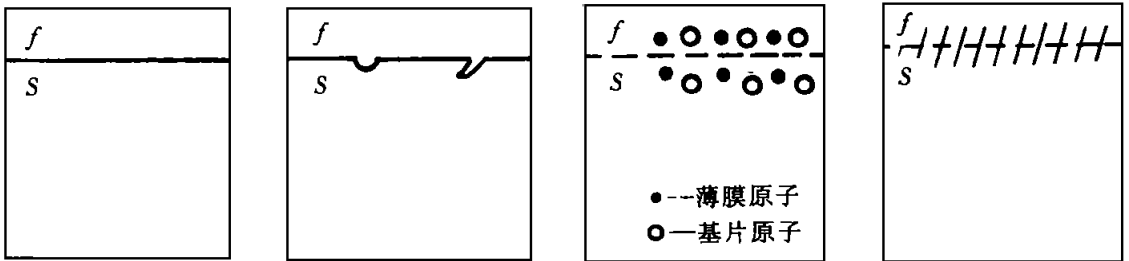
综合 1)、2) 分析试验, 从成分的角度说明薄膜/基片之间基本上没有生成扩散层或中间层化合物。我们又用灵敏度更高的 3063M 型 X 荧光光谱仪对膜和基片进行测量, 结果也证明了薄膜和基片基本上没有生成扩散层和中间化合物。

2 讨论

通过 EPMA 分析, 首先肯定 Au/Cr 薄膜电极的脱落发生在 Cr/Bi₁₂GeO₂₀ 之间, 进而我们对薄膜的附着机制和薄膜的内应力作了深入的研究。

2.1 薄膜及其附着性能

在基片上淀积了薄膜, 薄膜与基片之间构成相互联系又相互作用的统一体, 这种相互作用在宏观上以两种力的形式表现出来: 表征薄膜与基片接触界面结合强度的附着力和薄膜所承受的内应力^[2]。按薄膜与基片结合方式不同, 可分为如图 6 所示的四种附着类型: 1) 简单附着: 薄膜和基片间, 靠弱的吸引力(如范德华力)结合, 这种附着不牢固; 2) 宏观效应附着: 当基片表面粗糙, 有微孔、划痕、沟道等出现时, 淀积物与基片形成机械锁合机制, 这有利于附着力的提高; 3) 扩散附着: 薄膜成分与基片成分相互扩散, 使薄膜与基片间分界面不明显, 其附着力将大大增强; 4) 中间层附着: 形成中间层化合物或氧化物, 有效地增强薄膜的附着力。在一个薄膜/基片体系中, 结合是由多种附着类型组合而成的。



(a) 简单的附着 (b) 宏观效应附着 (c) 扩散附着 (d) 中间层附着

图 6 四种附着类型(f 为薄膜, S 为基片)

2.2 薄膜的内应力概念

按内应力的起源, 薄膜的内应力可分为热应力和本征应力。热应力是由薄膜和基片的热胀系数不同引起的; 本征应力来自薄膜和基片的晶格失配以及薄膜中的结构缺陷。当薄膜与基片的晶格或准晶格差别较大时, 在界面处会形成较大的应力—界面应力; 此外, 若在界面处有相当高的缺陷密度或杂质密度时, 也会引起严重的界面失配, 从而导致很大的界面应力^[3]。附着力和内应力既是两个不同的概念, 又是密切相关、共同作用的统一体。它们构成了薄膜对基片的附着性能, 也就关系到薄膜与基片的结合是否牢固。

2.3 本试验结果

1) 简单附着机制 由 EPMA 多种形貌分析可知, Bi₁₂GeO₂₀ 基片表面平整光滑, 没有微孔和沟道, 因而 Au/Cr 薄膜与 Bi₁₂GeO₂₀ 基片之间缺少宏观机械锁合附着机制; 又从形貌照片与成分分析结合起来可知, 薄膜与基片之间基本上没有生成扩散层或中间层化合物, 即基本上没有形成扩散附着机制和中间层化合物附着机制, 总的说来, 该种 Au/Cr/Bi₁₂GeO₂₀ 结构基本上属于弱结合力的简

单附着类型,这种附着是不牢固的。

2) 应力—应变一起皱和开裂 由脱落膜反面(Cr 层)形貌照片可见,Cr 层严重起皱和开裂。可以推知,这是由于 Cr 层承受着较大的应力所致。

我们还借助于 X 射线衍射分析法(XRD)对该种样品薄膜进行了结构分析和应力、应变的测定,得知 Cr 层与 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 基片间存在较大的晶格失配,使 Cr 层受较大的内应力,引起薄膜起皱、开裂,导致附着力减弱而脱落(关于薄膜应力的 XRD 分析法由另文论述)。

综上所述,用磁控溅射制得的 Au/Cr/ $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 器件,因其薄膜电极与基片间仅靠弱键结合的简单附着机制,其附着性能差;又加之 Cr 层承受着较大的内应力,引起薄膜严重起皱和开裂,最终导致薄膜电极脱落。

3 结束语

在金电极和基片间,作为中间层金属薄膜(或称金膜打底层)可以用 Cr 或 Ti。这是因为 Cr 或 Ti 易氧化。在微晶玻璃或陶瓷基片上能与其中的氧形成共价键,而 Cr(或 Ti)/Au 之间又存在明显的金属键,所以 Au/Cr(或 Ti)导电膜能与一般的基片有较好的附着性能。然而,对 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 基片来说,由本研究表明,Cr 与 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 之间没有良好的键后,所以电极膜较易脱落。若单从增强电极膜附着性能来考虑,可以改用 Ti 膜作中间层(Au 的打底层),但这将影响 SAW 器件的性能指标,因而只能用 Cr 作为中间层金属。

我们认为,提高淀积时基片温度、选择合适的淀积气氛(残余氧分压)、对基片表面进行活化处理或适当地增加基片表面的粗糙度(不是基片表面越光滑越好),这都将会有效地提高电极膜在 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 基片上的附着性能,从而避免脱落。

参 考 文 献

- 1 恽正中. 表面和界面物理. 成都: 电子科技大学出版社, 1993
- 2 周志峰, 范玉殿. 1994 年秋季中国材料研讨会 II, 低维材料. 北京: 化学工业出版社, 1997, 111 ~ 112
- 3 曲喜新. 薄膜物理. 上海: 上海科学技术出版社, 1986

Analysis of Thin-film Pole Separation of SAW Element with EPMA

Ruan Shichi

(Analysis Center of Electronic Materials, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Based on microarea topograph and microarea composition with EPMA, an series of Au/Cr/ $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ SAW elements is micro-analyzed. It is proved that the thin-film pole separation appears in the boundary plane between Cr-film and $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ -Substrate. This boundary connection is a simple weak adhesion and the Cr-film is forced intensely by a kind of internal-stress. As a result, the thin-film pole separates from the substrate.

Key words electron probe micro-analysis; thin-film pole; substrate; adhesive-force; internal-stress; separate

编辑 黄 莘