
日本电镀工程株式会社 (EEJA) 与东京大学合作
成功开发出领先世界各国，于 p 与 n 型有机半导体结晶上
以电镀法使接触电极一体成形之技术

达到世界最高水准的高性能有机晶体管不仅可成形于大气中
更具备低接触电阻电极和高迁移率

田中控股株式会社（总公司：东京都千代田区；执行总裁：田苗 明）公开发表，负责田中贵金属集团电镀业务发展之日本电镀工程株式会社(Electroplating Engineers of Japan Ltd.)（总公司：神奈川县平塚市；执行总裁：田中 浩一郎，以下简称 EEJA）与东京大学新领域创成科学研究所的竹谷纯一教授合作，领先世界各国，开发出 p 型与 n 型^(※1)两种半导体的有机场效应晶体管（以下简称 OFET），以化学镀方法同时形成接触电极之技术（以下通称本技术）。

本技术因采用化学镀方法，将银纳米粒子作为触媒用于有机半导体上，故不必在需要大型设备的真空环境下进行，就能够于大气中形成顶接触型 OFET（图 1）^(※2)的接触电极。此外，此技术和一样于大气中进行、属于接触成形法的金属油墨不同，对有机半导体的伤害较少，也不会损害高迁移率^(※3)有机半导体的性能，而得以形成高性能之 OFET。不仅如此，由于近年来高性能 n 型半导体材料的登场，开发速度不断提高的 p 型-n 型 OFET 混合型回路可同时形成接触电极，因此能够在低成本条件下制造出高科技的有机电子元器件。

使用本技术形成的接触电极之接触电阻在 p 型有机半导体上可达到 $0.1k\Omega\text{-cm}$ 以下，和至目前为止所发表的成形于大气中的有机半导体上接触电极相比，其接触电阻已达到世界最小值的记录。将竹谷教授所开发出可成形于大气中的高性能涂布型有机半导体结合本技术，便得以在大气中形成具备世界最高水准之低接触电阻电极和高迁移率的高性能 OFET（图 2）。此结果表示能够在大气中制成可高速驱动的有机电子元器件，并实现应用印刷电子技术^(※4)制造高性能电子元器件的目标。

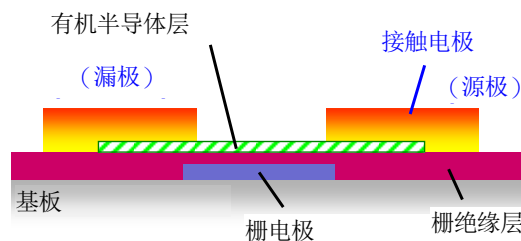


图 1. 顶接触型 OFET 剖面图

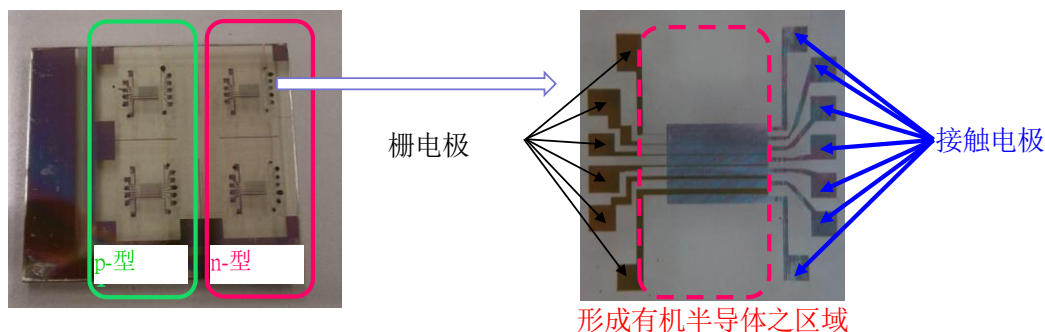


图 2. 制成的 OFET

本技术为金银合金构造的接触电极成形法，在有机半导体结晶上涂抹含有银纳米粒子之电镀用银触媒溶液后，将其基板浸泡于化学镀金液中，以覆上金镀膜，使银粒之间嵌入金粒子。籍由这样的过程，容易从金注入电荷的 p 型有机半导体以及容易从银注入电荷的 n 型有机半导体便能够利用同样的方法制成低接触电阻的接触电极（图 3）。

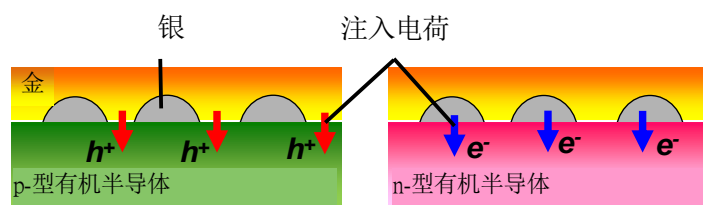


图 3. 金银合金构造模式图

EEJA 将于 3 月 11 日（周三）到 14 日（周六）的四天期间，在日本东海大学湘南校区（神奈川県平塚市）举行的“第 62 届应用物理学会春季学术演讲会”发表本技术相关之研究成果。

■ 技术背景

OFET 系指使用有机半导体的晶体管，拥有“可于低温成形”、“轻盈”、“柔软度佳”等有机材料才具备的特征。近年来随着有机半导体材料的高性能化的发展愈来愈快，已开发出比过去所认为的有机半导体临界迁移率数值还高出两位以上的材料。此外，竹谷教授研究团队的成果使高迁移率有机半导体得以在大气中成形，可预期有机半导体元器件的适用范围将因此更为扩大。

另一方面，形成 OFET 接触电极的方法有好几种，而这些方法皆需要在真空环境下进行，或有损害有机半导体之虞等问题。例如利用真空蒸镀法虽可形成均匀的薄膜电极，但营造真空环境所需的设备成本相当高昂，材料的损失也不少。此外，金属油墨和金属浆料的电极成形法虽然可在大气中进行，但因含有有机溶剂，且必须在高温下进行烧结并利用紫外线使其硬化，故容易伤害有机半导体，使形成之电极无法获得足够的性能以作为晶体管之用。

有鉴于此，EEJA 和竹谷教授的研究团队于 2014 年 9 月进行合作，开发出利用化学镀法于 p 型有机半导体上形成接触电极之技术。EEJA 开发了全新的化学镀触媒用金纳米粒子，以便在有机半导体结晶上稳定形成电极。利用此技术所形成的接触电极接触电阻仅有 $0.7\text{k}\Omega\text{-cm}$ ，以形成于大气中的接触电极来说，具有非常惊人的低接触电阻性。此外，竹谷教授团队开发出涂布型有机半导体，能够在短时间内于大气中形成具有完整结晶方位的大面积有机半导体薄膜，使影响半导体性能的迁移率远远超越过去的有机半导体，而达到 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的水准。

■ 对于应用 OFET 的崭新仪器之开发有所贡献—今后的计划

OFET 因具有“可列印”、“轻盈”、“柔软度佳”等特征，故预期未来将能够开发出软性显示器和可抛弃式 RFID（无线射频自动识别）标签等仪器。目前持续开发的仪器大多仅适用 p 型有机半导体，然而今后为了开发出回路更精密、驱动 IC 可弯曲的全软性显示器和可穿戴式电脑等元器件，p 型-n 型 OFET 混合的回路便不可或缺，且必须使两者的 OFET 高速运作。这次的合作开发技术将对有机电子元件的技术革新有所贡献，EEJA 今后也将以有机电子元件的实用化为目标，持续进行更深入之探讨。

(*1) p 型有机半导体与 n 型有机半导体

使有机化合物在具有完整结晶方位的状态下结晶化，而获得半导体的特征。藉由注入正电荷以形成电流的半导体属于 p(positive)型，而藉由注入负电荷以形成电流的则称为 n(negative)型有机半导体。p 型或 n 型等不同类型的半导体容易注入电荷的金属种类也各异。

(*2) 顶接触型 OFET

接触电极位于半导体结晶上的有机晶体管。其构造和具其他构造之 OFET 相比，可进行更高速的驱动。然而一般认为有机半导体在形成结晶后才形成电极，故容易使有机半导体受损，而难以形成接触电极。

(*3) 迁移率

表示半导体中电荷移动容易度的数值。进行复杂处理程序的电子元件需要较高的迁移率。直到数年前，一般有机半导体的迁移率仍只有 $0.1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 左右，最近则开发出迁移率超过 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ 的材料。

(*4) 印刷电子技术

应用印刷等技术，于大气中在基板上形成电子回路和元件等的技术。

■田中控股株式会社（统筹田中贵金属集团之控股公司）

总公司：东京都千代田区丸之内 2-7-3 东京大楼 22F

代表：执行总裁 田苗 明

创业：1885年

设立：1918年

资本额：5亿日元

集团连结员工数：3,562 名（2013 年度）

集团连结营业额：9,676 亿日元（2013 年度）

集团之主要事业内容： 贵金属材料(白金·金·银等)及各种产业用贵金属制品制造·贩售, 进出口
及贵金属之回收·精炼

网址：<http://www.tanaka.co.jp> (集团)

<http://www.tanaka.com.cn> (产业制品)

■日本电镀工程株式会社

简称：EEJA (Electroplating Engineers of Japan Ltd.)

总公司：神奈川县平冢市新町 5-50

代表：执行总裁 田中 浩一郎

设立：1965 年

资本金：1 亿日元

员工人数：94 名（2013 年度）

营业额：233 亿 6000 万日元（2013 年度）

营业内容：

1. 与乐思化学（Enthone）集团技术合作的 SEL-REX 贵金属与贱金属电镀液、添加剂及表面处理相关药品的研发、制造、销售、出口
2. 电镀装置的研发、制造、销售、出口
3. 其他电镀相关产品的进口、销售

网址：<http://www.eeja.com/>

<关于田中贵金属集团>

田中贵金属集团自 1885 年（明治 18 年）创业以来，营业范围以贵金属为中心，并以此展开广泛活动。于 2010 年 4 月 1 日，以田中控股株式会社做为控股公司（集团母公司）的形式，完成集团组织重组。通过加强内部控制体制同时有效进行迅速经营及机动性业务，以提供顾客更佳的服务为目标。并且，以身为贵金属相关的专家集团，连结底下各公司携手合作提供多样化的产品及服务。

在日本国内，以最高水准的贵金属交易量为傲的田中贵金属集团，从产业用贵金属材料的开发到稳定供应，装饰品及活用贵金属的储蓄商品的提供等方面长年来不遗余力。田中贵金属集团今后也更将以专业的团队形态，为宽裕丰富的生活贡献一己之力。

田中贵金属集团核心 8 家公司如下所示：

- 田中控股株式会社，纯粹控股公司
- 田中贵金属工业株式会社
- 田中贵金属国际株式会社
- 田中贵金属贩卖株式会社
- 日本电镀工程株式会社
- 田中电子工业株式会社
- 田中贵金属商业服务株式会社
- 田中贵金属珠宝株式会社