

使用 EDX 进行氟分析 —PFAS 使用情况简易筛查（电气电子篇）—

01-00977-cn

久保田结羽、中村秀树

特点描述

- ◆ 与吸收 / 发射光谱分析相比，EDX 更易于分析卤素（F、Cl、Br、I）。
- ◆ 无需前处理，即可直接检测材料表面含氟材料中的氟（F）。
- ◆ 由于可以一次性分析卤素，因此可以简便地筛查卤素系阻燃剂的使用可能性。

■ 引言

随着欧盟^{1)、2)}及美国^{3)、4)}部分州不断加强对 PFAS 和卤素系有机阻燃剂的监管，在电气电子领域使用的材料中，尽早掌握氟等卤素是否存在已成为迫切需求。此外，还需要对供应链开展快速筛查。

能量色散型 X 射线荧光光谱仪 EDX-8100 几乎无需前处理，可在短时间内检测氟（F）、氯（Cl）、溴（Br）等卤素，因此可有效用于材料的简易筛查。使用 EDX-8100 可快速判断各类电气电子部件中是否含有这些卤素，从而便于筛选监管对象产品，并确定精密分析的优先顺序。

本文以电线包覆树脂和继电器为例，介绍 EDX 在卤素检测方面的实用性。

1)、2) 在 PFAS 监管中，电子和半导体行业也正在考虑包括 PTFE 等高分子 PFAS（2026 年 5 月生效后 13.5 年的减免措施等）。

3)、4) 根据华盛顿州行政法，有机阻燃剂中，对于电气电子产品的塑料外部外壳，总溴、总氯、总氟超过 1000ppm 被视为故意添加。相关规定中还列出了使用 X 射线荧光光谱仪进行筛查分析的方法。

1. 电线包覆树脂

■ 样品

ETFE 包覆电线

■ 样品前处理

直接将样品以成束状态进行测试。图 1 显示了使用仪器内置样品观察摄像头拍摄的样品图像。

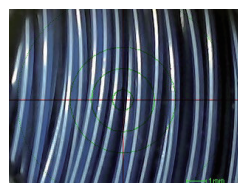


图 1 ETFE 包覆电线

■ 定性定量分析

定性分析结果如图 2 所示，定量分析结果如表 1 所示。可以确认，作为 ETFE（乙烯 - 四氟乙烯）主要成分的氟被强力检测到。采用 FP 法进行定量分析时，假定材料 ETFE 的组成式为 $C_2H_2F_4$ 进行定量。由于还检测出了 Cu、Sn 等电线组成元素，因此定量值仅作为复合制品的参考值。

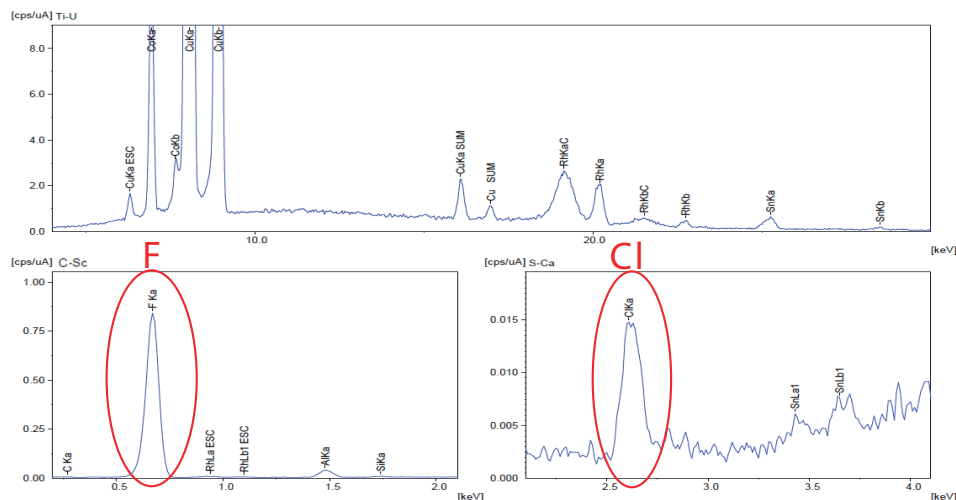


图 2 ETFE 包覆电线的定性分析结果

表 1 ETFE 包覆电线的定量分析结果（参考值）[wt%]

样品	$C_2H_2F_4$	Cl	Cu^{*1}	Co	Al	Sn^{*1}	Si
ETFE 包覆电线	95.01	0.13	4.59	0.12	0.096	0.053	0.009

*1 推测 Cu 和 Sn 为电线的组成元素。

2. 电气部件

■ 样品

继电器
样品图像如图 3 所示。



图 3 继电器

■ 样品前处理

直接对样品进行测试。

■ 定性定量分析

定性分析结果如图 4 所示，定量分析结果如表 2 所示。从继电器表面检测出了 F、Br、Sb 等元素，表明可能使用了含氟材料（脱模剂的附着、涂层、滴漏防止剂等）、溴系阻燃剂和阻燃助剂。此外，还检测出了 Cu、Fe 等被认为来源于内部机构的元素，因此定量值仅作为复合制品的参考值。

■ 分析条件

ETFE 包覆电线和继电器的分析条件如表 3 所示。用于测量 F 的“C-Sc”通道积分时间仅为 60 秒，可在短时间内完成测量。

表 3 分析条件

测量通道	Ti-U	C-Sc	S-Ca
分析线	Kα、Kβ、Lα、Lβ……		
X 射线管	Rh 靶		
管电压	50 kV	15 kV	
管电流	自动		
准直器	10 mmφ		
积分时间	20 秒	60 秒	20 秒
死时间	最大 30%		
滤光片	无	#2	
检测器	SDD 半导体检测器		
气氛	真空		
定量分析方法	FP 法		

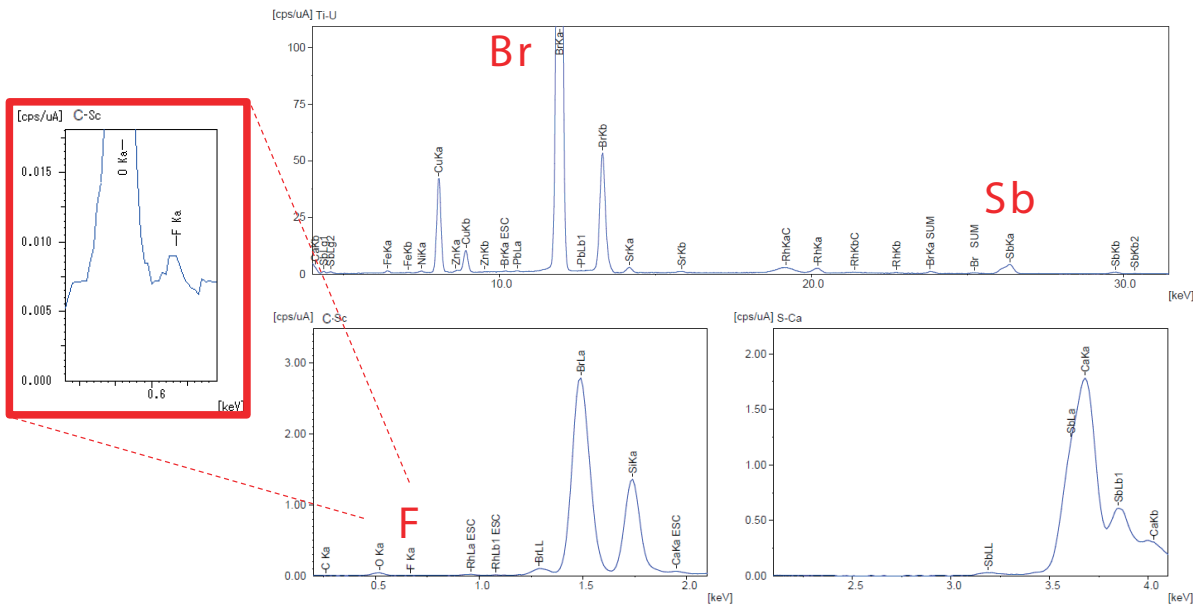


图 4 继电器的定性分析结果

表 2 继电器的定量分析结果（参考值）[wt%]

样品	F	Br	Sb	Ca	Si	Cu	Sr	Fe	Pb	Ni	Zn	C ₁₂ H ₁₂ O ₄ *1 继电器
继电器	0.35	1.93	1.23	1.63	1.21	0.31	0.017	0.014	0.008	0.006	0.005	93.29

*1 将有机物部分设定为 C₁₂H₁₂O₄ 平衡组分（余量）进行定量。

■ 结论

如上述分析示例所示，当氟含量约为 0.1 wt% 及以上时，可快速、简便地进行检测和定量分析。除有意使用的情况外，即使是转印或污染等非故意混入的情况，同样可以确认氟化化合物的存在。

在电气电子领域，预计今后对 PFAS 和卤素系阻燃剂的分析需求将会增加，EDX 作为最初的简易筛查方法非常有用。

- ※ 本文将 PFAS 作为有机氟化合物的统称。
EDX 无法鉴定有机氟化合物的具体种类。
- ※ 关于监管信息，请查阅最新官方公报发布的信息。本文仅从分析角度摘录并记载了部分要点。

参考文献

- 1) European Chemicals Agency (ECHA), [“Submitted restrictions under consideration.”](#) ECHA.
- 2) ECHA PACT RAC sector evaluation: Electronics and semiconductor.
- 3) Washington State Legislature, [“Chapter 173-337 WAC: Safer Products Restrictions and Reporting.”](#) Washington Administrative Code.
- 4) Washington State Department of Ecology, [“Safer Products for Washington: Resources for complying with the rule – Electronic and electrical products.”](#)

相关应用

1. 使用 EDX 进行氟分析—PFAS 使用情况简易筛查（纤维·纸张篇）—[应用报告编号 01-00975-jp](#)
2. 使用 EDX 进行氟的定量分析—粉末、含氟膜—[应用报告编号 01-00164-jp](#)

岛津应用云



Xctal 是岛津制作所或其附属公司在日本和 / 或其他国家的商标。



岛津企业管理（中国）有限公司
岛津（香港）有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话： 800-810-0439
400-650-0439

免责声明：

- * 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售；
- * 本资料中的所有信息仅供参考，不予任何保证。
如有变动，恕不另行通知。

第一版发行日：2026 年 7 月

[> 问卷调查](#)

相关产品

部分产品可能已更新至新型号。



[> EDX-8100](#)

能量色散型X射线荧光光谱仪
EDX-8100

相关领域

[> 电气电子](#)

[> 电子部件](#)

[> 价格咨询](#)

[> 产品咨询](#)

[> 技术咨询](#)

[> 其他咨询](#)