

# 等离子处理在电子制造中的应用效益

Brian Stumm

ANDA Technologies USA, Inc.

Fremont, CA USA

BStumm@ANDA.us

Anderson Arvelo

Anda Technologies México, SA DE CV.

Guadalajara, México

AArvelo@ANDAMexico.com

## 摘要

等离子处理是一种快速、环保的过程，可进行精细清洗和表面改性等离子处理具有以下优势

- 表面改性：表面能量增加，表面张力降低，润湿性和附着力得到改善。
- 微喷砂：表面被离子轰击去除。
- 化学反应：电离气体与表面的化学反应。
- 紫外线辐射：紫外线辐射分解长链碳化合物。

等离子处理的变化对所利用的工艺参数的影响，如功率水平、空气或真空压力、处理时间、气体流量和气体类型.因此，可以在一个过程步骤中实现几个效果。

等离子从表面去除脱模剂 (包括硅树脂和油)。这些都受到氧气等化学攻击，并转化为挥发性化合物。

由于真空和表面加热，释放剂或其残留物部分蒸发。释放剂分子被等离子中的高能粒子分解成更小的分子碎片，因此可以被提取出来。此外，还在原子水平上产生了 "微爆炸效应"。

在 PCBs 和其他电子组件，通常有无形的沉积，如油脂，油，有机硅，细尘，水分和氧化层，等离子处理消除了这些污染物，这些污染物可能会影响涂层或焊料的流动，或影响粘合剂的粘结强度。

本研究介绍了各种等离子处理方法，并讨论了最有效的等离子处理参数。

**关键词：**等离子处理，表面处理，清洗,氧化物去除，粘附，润湿性。

# 介绍

## 什么是等离子？

等离子是物质的第四种状态，被认为是宇宙中最常见的物质状态。简单地说，等离子是一种电离气体，它提供足够的能量将电子从原子或分子中释放出来，并在负极和正态共存[1].

固体 + 足够的能量 = 液体  
液体 + 足够的能量 = 气体  
气体 + 足够的能量 = 等离子

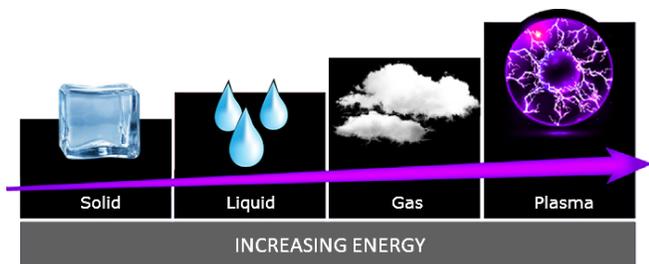


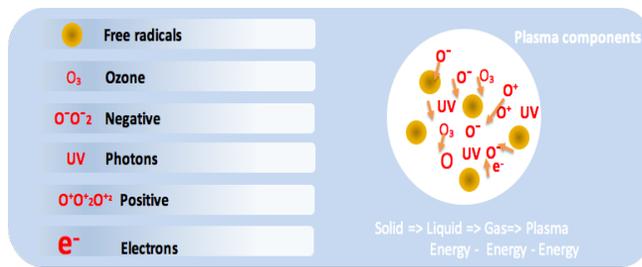
图 1：物质的 4 种状态

## 什么是等离子处理？

等离子处理是表面改性的一种形式。它用于在粘合、粘合、涂装、点胶或涂层之前对材料表面进行预处理，几乎可用于任何材料表面，包括纺织品、金属、塑料、玻璃等材料表面。基板的润湿性。它还可用于去除微细污染物，甚至去除氧化物。

等离子是通过将气体与增加的能量结合起来产生的，在这种能量中，气体在负极和正极状态下都以电子方式与自由移动的电子相结合。这种中性气体原子、正离子、紫外线以及其他激发气体分子和原子的混合物充满了大量的内部能量（如下图 2）。等离子处理是在这种能量与基板表面接触时启动的。

图 2：等离子的组成



等离子处理通过增加材料的表面能量来改变材料的表面。这就像是微小的精细打磨表面。这种处理增加了表面能量，但也会由于表面的改变而产生更多的表面积。这样可以在处理区域内产生更好的润湿性和流动性。结果产生更好的覆盖范围，并允许在前所未有的情况下在材料上进行粘附。

等离子被证明能显著增加表面积，并在聚合物表面形成极性范围，从而使基板与其界面（即油墨、涂料和粘合剂）之间发生强共价结合 [2].

等离子处理有两种常见的形式；低压等离子（真空等离子体）和大气等离子，用于基板的表面改性。

真空等离子是使用真空泵产生的，在真空泵中，大部分空气都从密封的室内排出。在去除足够的空气后，室内低压达到足够的水平，使剩余的空气或气体具有产生等离子体的强大电场。使用真空等离子体同时可处理所有材料的表面。

另一方面，大气等离子不需要密闭室，它是由带电的空气或气体，当它们通过喷嘴时，在周围的大气或正常压力使用脉冲电弧来产生的高压放电。

## 为什么要使用等离子处理？

等离子处理可以在任何表面上使用。其中一个表面是印刷电路板。是在电子制造中所说的印刷电路板或 PCB, 把电子元件焊接在 PCB 上。

PCB 的表面处理是最常见使用等离子处理的表面。等离子处理的好处可以在涂覆制过程中找到。涂覆工艺旨在保护电子电路板或组件 (PCB) 免受暴露于环境中造成的损害。在这一制程中，PCB 以丙烯酸、聚氨酯、有机硅、环氧树脂和其他形式的形式涂覆了一道保护屏障，这种保护延长了电子组件的使用

寿命,有助于保证产品的功能,并在产品投入使用后最大限度地减少昂贵的维修。应用涂覆的方法有很多种。最复杂和有效的方法是利用多轴机器人,用喷枪把物料进行精确的涂覆。但是无论应用多么精确的设备都存在着无法克服的挑战。其中一个挑战是表面污染。

在电子组件的制造过程中,表面会积聚杂质,电子电荷等,使涂覆材料不覆盖整个表面。这种现象在电子制造中也是众所周知的(图3)

这种现象的解决方案在许多情况下可以用等离子体处理去清洁电子组件的表面。

图3:不润湿



它加强了表面的结合力,提高了涂层粘附表面的能力,并允许在表面上进行粘附,而这些表面以前是不可能粘附的。当表面在涂装、涂装或粘接之前经过等离子体处理时;粘附失效的风险大大降低。

它可以去除污染物,例如油、胶、有机硅、氧化物和其他有机和无机化合物,而不会损坏基材。表面也可以从改进的润湿性中受益,它提高了表面能量,降低了表面张力,以改善流动和润湿。

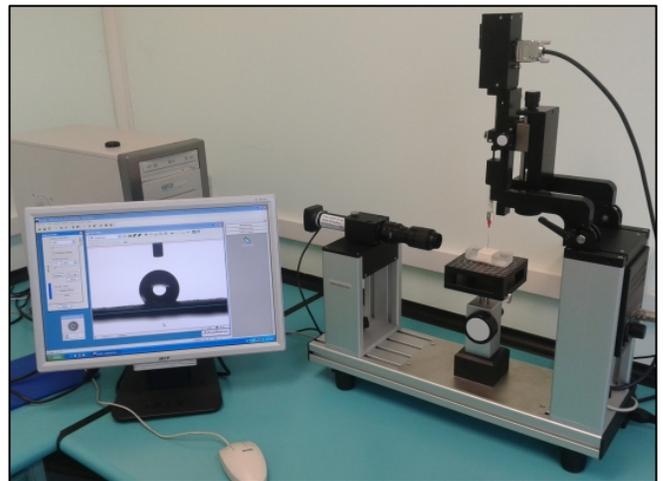
几乎在任何行业中都有应用,在这些行业中,某种形式的等离子体处理都是有益的。自1995年以来,几乎所有国际汽车制造商都使用等离子体处理来粘接前大灯外壳、座椅甚至挡风玻璃。现代飞机结构甚至在涂漆之前使用等离子体处理,以确保其具有最高的质量。更不用说所有的仪器显示器都有等离子体涂层,以防止反射[3]。

## 方法

在这项研究中,进行了测试,同时使用真空等离子体处理和大气等离子体处理。接触角测量用于评估处理前和处理后的表面张力。

使用光学张力计或接触角测角仪(图4),在测试基板上放置水滴,使用高放大倍率的显微镜去捕获图像,通过复杂的软件流程与理论相匹配,再用液滴剖面的英拉普等式,液滴与底物之间的接触角度然后可以计算。

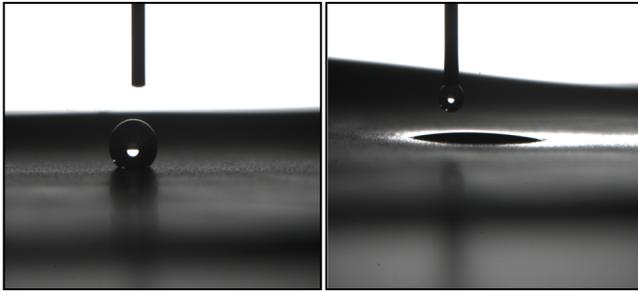
图4:光学张力计



接触角是通过液体测量的角度,在这种角度中,液体-蒸汽界面与固体表面相接。它量化固体表面的润湿性由液体通过英拉普等式[4]

高接触角表示基板不易被水沾湿,而较低的接触角表示基板具有吸水性。图4中的图像表示一个随机样本。初始测试表明接触角大于100度(左)。经过大气等离子体处理后,接触角下降到小于10度(右)。

图 5：接触角图像



为这项研究，测试了各种材料，材料包括：

- 硅橡胶片 (50 Shore A)
- 印刷电路板 (PCB)
- 铝材 (6061 -T651)
- 硬质阳极氧化铝 (6061-T651)
- 滑石陶瓷
- 钢化玻璃
- 聚酰亚胺柔性电路材料
- 聚氧甲氧基(乙缩醛塑料)
- 镀金铜料

### 真空等离子

真空等离子处理需要一个密封的真空室，这通常意味着离线或批次处理。图 6 表示本研究中使用的 400x400x400mm 真空室。

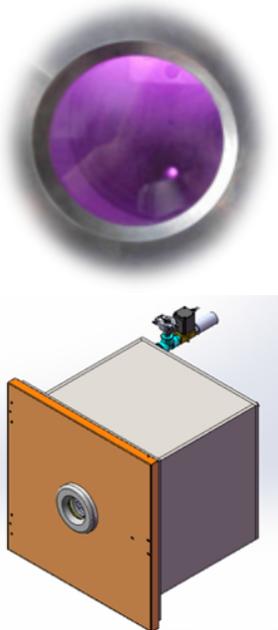


图 6：真空等离子室，0.064 立方厘米

图 7 显示了真空等离子处理在不同材料类型上的测试结果，使用不同的气体组合和不同的处理时间。每次试验使用的等离子处理功率水平为 500 瓦。处理时间不包括抽真空所需的时间 (约 2 至 3 分钟)。

Material	Gas	Treatment Time	Before Treatment			After Treatment		
			1	2	3	1	2	3
Silicone	O2: 10ml, Ar: 40ml	30s	119.3	120.6	123.1	5.6	5.2	6.1
	N2: 40ml, Ar: 40ml		122.6	122.9	124.2	9.1	10.2	9.5
PCB (FR4)	O2: 10ml, Ar: 40ml	30s	74.5	76.1	74.6	9.5	9.6	9.9
	N2: 40ml, Ar: 40ml		76.7	72.9	75.3	8.3	8.1	8.5
Aluminum	N2: 40ml, Ar: 40ml	30s	96.1	95.7	99.4	33.2	35.2	34.6
		60s	95.2	97.2	98.2	20.7	20.2	21.2
		180s	93.6	94.1	96.7	12.4	11.6	12.8
		300s	96.4	95.9	98.7	6.4	6.2	6.7
Anodized Aluminum	N2: 40ml, Ar: 40ml	180s	93.6	94.1	96.7	12.4	11.6	12.8
		300s	96.4	95.9	98.7	6.4	6.2	6.7
Ceramic	N2: 40ml, Ar: 40ml	30s	36.2	35.4	36.9	13.3	13.8	12.9
		60s	37.1	36.4	35.7	9.1	8.7	8.3
Glass	N2: 40ml, Ar: 40ml	30s	39.6	39.1	39.9	8.6	7.9	8.2
		60s	37.2	38.3	38.7	3.5	4.2	4.7
Polyimide (Kapton)	O2: 10ml, Ar: 40ml	30s	67.8	66.4	64.2	8.2	9.2	8.7
	N2: 40ml, Ar: 40ml		64.2	65.2	63.5	11.3	10.6	11.7
Polyoxymethylene (Acetal)	O2: 10ml, Ar: 40ml	180s	77.1	74.5	76.4	49.3	50.4	50.9
	N2: 40ml, Ar: 40ml	300s	79.8	77.3	78.4	46.3	47.1	46.8
Gold Plating	O2: 10ml, Ar: 40ml	25s	102.1	102.9	102.3	20.8	21.5	21.1
		60s	99.6	101.4	104.7	14.9	14.7	16.1

图 7: 真空等离子处理的测试结果

### 大气等离子

当压缩空气或气体通过喷嘴和高压、高压、电弧接触时，就会产生大气等离子。由此产生的等离子从喷嘴的尖端发出，其有效范围约为 15 毫米。本研究中使用的测试设备是一个具有 3 轴 (X、Y、Z) 运动的封闭工作单元。试验设备提供两种喷嘴类型：50 毫米旋转喷嘴和 6 毫米尖喷嘴。下面的图 4 显示了本研究中使用的两个等离子喷嘴。



图 8：50 毫米旋转喷嘴 (左) 和 6mm 尖喷嘴 (右)

图 9 说明了使用 50mm 旋转等离子体喷嘴对不同参数的各种材料类型进行大气等离子处理的测试结果。喷嘴与基板的距离为 7mm。

Material	Gas	Power	Treatment Speed	Before Treatment			After Treatment		
				1	2	3	1	2	3
Silicone	CDA	500W	50mm/sec	133.5	125.9	129.6	11.5	12.6	10.9
			100mm/sec	125.6	127.1	126.5	17.6	19.2	19.4
			50mm/sec	130.1	127.1	128	10.2	10.5	9.8
	N2	1000W	50mm/sec	128.3	128.6	128.1	15.6	16.4	15.1
			100mm/sec	126.7	124.7	125.6	8.6	8.4	8.8
			50mm/sec	125.3	124.1	129.5	12.5	12.7	13.1
PCB (FR4)	CDA	500W	50mm/sec	75.3	76.5	74.1	24.6	25.3	23.5
			100mm/sec	77.3	79.2	76.3	29.8	28.6	29.7
			50mm/sec	75.3	78.4	78.9	22.8	22.2	21.6
	N2	1000W	100mm/sec	74.1	78.6	79.3	24.1	24.1	25.4
			50mm/sec	71.9	74.1	76.8	18.5	18.5	17.3
			100mm/sec	75.6	74.1	73.5	22.3	24.1	23.2
Aluminum	CDA	500W	50mm/sec	74.1	76.5	79.8	15.2	16.2	15.7
			100mm/sec	75.3	72.5	76.4	20.6	20.3	21.5
			50mm/sec	94.2	94.1	99.1	29.7	30.1	31.2
	N2	1000W	100mm/sec	95.3	96.3	94.6	39.6	39.7	38.6
			50mm/sec	96.8	94.1	95.2	26.3	25.8	27.4
			100mm/sec	98.1	95.2	94.6	35.9	36.4	35.6
Anodize Aluminum	CDA	500W	50mm/sec	98.6	97.3	97.3	25.1	24.5	26.7
			100mm/sec	95.6	94.2	94.2	33.2	32.6	33.1
			50mm/sec	92.8	96.4	91.5	23.5	24.1	24.6
	N2	1000W	100mm/sec	94.6	95.2	95.6	30.1	31.5	29.3
			50mm/sec	108.3	105.3	107	11.1	12.5	11.2
			100mm/sec	106.2	108.4	103.8	17.8	18.3	18.7
Ceramic	CDA	500W	50mm/sec	104.9	105.1	101.3	7.6	7.8	8.1
			100mm/sec	103.8	107.5	103.9	14.9	14.2	15.8
			50mm/sec	34.8	35.6	36.5	21.3	20.5	20.3
	N2	1000W	100mm/sec	39.6	37.5	35.4	25.3	24.6	25.8
			50mm/sec	37.4	39.5	38.3	19.4	20.1	19.8
			100mm/sec	36.4	38.2	35.2	23.7	24.1	23.6
Glass	CDA	500W	50mm/sec	37.5	36.3	38.6	20.6	20.9	21.4
			100mm/sec	36.7	34.9	37.1	22.8	22.3	23.1
			50mm/sec	37.8	35.5	39.2	17.6	18.2	17.9
	N2	1000W	100mm/sec	36.2	38.3	37.3	20.5	20.8	21.8
			50mm/sec	39.2	38.8	39.4	6.3	6.1	6.9
			100mm/sec	38.5	38.6	38.3	8.9	8.5	9.2
Polyimide (Kapton)	CDA	500W	50mm/sec	38.5	39.4	37.9	5.1	5.5	6.1
			100mm/sec	39.4	38.1	39.6	7.6	8.3	7.9
			50mm/sec	66.9	69.4	65.2	19.2	18.6	18.2
	N2	1000W	100mm/sec	62.5	61.2	63.2	23.5	22.6	22.8
			50mm/sec	61.9	62.5	63.5	17.5	17.4	16.9
			100mm/sec	63.5	64.3	66.2	21.3	20.9	21.4
Polyoxymethylene (Acetal)	CDA	500W	50mm/sec	61.2	61.5	63.8	14.2	14.1	14.6
			100mm/sec	62.5	63.8	66.7	19.1	18.5	19.8
			50mm/sec	63.5	63.5	65.1	12.3	13.5	12.9
	N2	1000W	100mm/sec	68.3	65.2	61.5	15.6	16.1	15.7
			50mm/sec	78.6	73.5	76.2	55.3	53.6	54.6
			100mm/sec	75.4	73.8	74.2	56.1	55.7	56.4
Gold Plating	CDA	500W	50mm/sec	76.1	74.5	72.5	52.1	52.6	53.1
			100mm/sec	77.2	74.1	79.5	54.3	54.8	54.1
			50mm/sec	78.4	79.4	73.5	52.4	52.9	52.4
	N2	1000W	100mm/sec	74.2	73.4	79.4	53.8	54.3	54.1
			50mm/sec	76.8	76.8	74.2	50.1	52.3	50.2
			100mm/sec	71.5	75.5	73.5	53.4	53.6	52.8
Polyoxymethylene (Acetal)	CDA	500W	50mm/sec	101.7	102.3	106.7	33.7	32.6	34.1
			100mm/sec	103.2	104.6	104.2	40.2	39.7	39.9
			50mm/sec	109.7	103.3	105.9	31.5	29.6	30.2
	N2	1000W	100mm/sec	105.8	104.9	106.1	37.3	36.8	36.4
			50mm/sec	106.4	102.7	107.6	29.4	28.4	28.9
			100mm/sec	102.4	106.4	105.8	33.2	33.5	34.1
Gold Plating	CDA	500W	50mm/sec	103.7	103.9	104.4	23.6	24.5	25.1
			100mm/sec	105.8	105.4	106.3	30.5	29.7	29.3
			50mm/sec	78.6	73.5	76.2	55.3	53.6	54.6
	N2	1000W	100mm/sec	75.4	73.8	74.2	56.1	55.7	56.4
			50mm/sec	76.1	74.5	72.5	52.1	52.6	53.1
			100mm/sec	77.2	74.1	79.5	54.3	54.8	54.1
Gold Plating	CDA	500W	50mm/sec	78.4	79.4	73.5	52.4	52.9	52.4
			100mm/sec	74.2	73.4	79.4	53.8	54.3	54.1
			50mm/sec	76.8	76.8	74.2	50.1	52.3	50.2
	N2	1000W	100mm/sec	71.5	75.5	73.5	53.4	53.6	52.8
			50mm/sec	101.7	102.3	106.7	33.7	32.6	34.1
			100mm/sec	103.2	104.6	104.2	40.2	39.7	39.9
Gold Plating	CDA	500W	50mm/sec	109.7	103.3	105.9	31.5	29.6	30.2
			100mm/sec	105.8	104.9	106.1	37.3	36.8	36.4
			50mm/sec	106.4	102.7	107.6	29.4	28.4	28.9
	N2	1000W	100mm/sec	102.4	106.4	105.8	33.2	33.5	34.1
			50mm/sec	103.7	103.9	104.4	23.6	24.5	25.1
			100mm/sec	105.8	105.4	106.3	30.5	29.7	29.3

图 9：50 Mm 旋转喷嘴, 大气等离子体测试结果

## 测试结果总结

真空等离子处理和大气等离子处理都提供了类似的接触角减少。对于真空等离子，不同的气体介质为不同的材料提供了更好的效果。例如，氧气 & 氩气提供了塑料材料的最小接触角，而氮气和氩气为金属基板提供了最佳的结果。在大气等离子中，使用氮气的结果与清洁干燥空气 (CDA) 相似。

## 结论

等离子处理过程对电子制造业生产流程及各类应用有颇大帮助。在涂覆和焊接工艺上可强化物料附着力和拉力，在涂覆工艺上可大大减少欠湿润性及脱离现象，等离子处理更可消除金属表面之氧化物对焊锡工艺更使完美。等离子清洗对以下应用更为有效：

### 等离子处理应用项目：

- 在铝线焊接及晶片焊接前的表面处理
- 上锡前除去金属表面氧化物
- 涂覆工艺前可更细致地表面清洁处理
- 在 SMT BGA 底部填充，点或涂覆胶水流程前底板表面清洗
- 灌胶封装或密封 IC 清洗
- 触摸屏生产线上清洗
- 涂抹或油墨喷射生产流程
- SMT 后工序之清洗

## 未来工作

在未来使用等离子处理工艺上还有很多流程中参数优化工作需要注意，如等离子功率，气体本质，清洗时间及速度。但在真空等离子处理工艺上，单一一种气体或混合几种气体将会有不同效果。对于不同基材所对应气体亦要大家花时间研究出来。

近年在电子生产过程中，对于防水涂覆工艺亦有深入研究及应用，在此这个技术文献有必须让大家阅读。

## 鸣谢

### 作者非常感激

东莞市安达自动化设备有限公司之李耀勇及  
安达自动化(香港)有限公司之 Jacky So 及 Dave Law  
另外还有来自美国安达技术公司之 Alok Sahu 及  
墨西哥安达技术公司之 Julio Pacheco , Cesar Cota 付出时间研究测试数据。

## 参考文献

- [1] Brian Kross, “What is Plasma?”,  
[https://education.jlab.org/qa/plasma\\_01.html](https://education.jlab.org/qa/plasma_01.html) Retrieved 9  
April, 2019
- [2] Rory Wolf and Amelia Carolina Sparavigna, “Role of  
Plasma Surface Treatments on Wetting and Adhesion”,  
Published Online June 2010  
(<http://www.SciRP.org/journal/eng>)
- [3] B. Welt (2009) “Technical Synopsis of Plasma Surface  
Treatments”, University of Florida
- [4] “Contact Angle”,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Contact\\_angle](https://en.wikipedia.org/wiki/Contact_angle) Retrieved 3  
April, 2019