ورقة فنية · قسم البحث والتطوير في MG TECH · 2026

طلاء واقٍ نانوي البنية قائم على البلاستيك وبدون حرارة للوحات PCB: التقنية والأداء واعتبارات الموثوقية

الملخص

تتعرّض لوحات الدوائر المطبوعة (PCB) في البيئات الصناعية والسياراتية والبحرية والخارجية وعالية الرطوبة للرطوبة والماء والتلوّث الأيوني والتآكل والدورات الحرارية والإجهاد الميكانيكي. تخفض هذه العوامل مقاومة العزل السطحية وتُطلق آليات أعطال مثل الهجرة الكهروكيميائية ونمو التغصّنات والتآكل. الطلاءات الواقية (المطابقة) وسيلة راسخة، وتحدّد أطر مثل **IPC-CC-830** و**IEC 61086** كيفية تأهيلها. تصف هذه الورقة **طلاءً واقياً قائماً على البلاستيك وبدون حرارة ومتعدد الطبقات** (MGCoat) يُكوّن طبقة معزّزة غير شفافة في درجة حرارة الغرفة. الأرقام مذكورة كمواصفات الشركة المصنّعة ونتائج ملاحظة؛ ويُوصى بالتأهيل المستقل للامتثال الرسمي.

كلمات مفتاحية: موثوقية PCB؛ طلاء مطابق؛ طلاء واقٍ؛ مقاومة العزل السطحية؛ الهجرة الكهروكيميائية؛ IPC-CC-830؛ IEC 61086؛ حماية الغمر؛ تطبيق بدون حرارة.

1. المقدمة

تُحكَم موثوقية الإلكترونيات الميدانية بمدى تحمّلها للإجهاد البيئي. ومع انتقال الإلكترونيات إلى وحدات حجرة المحرك والحساسات الخارجية والمعدات البحرية وأنظمة LED والدرونات وإلكترونيات الدراجات النارية، تواجه اللوحة التكثّف والمطر والغسيل والملح والغبار والبقايا الأيونية وتقلّبات الحرارة والاهتزاز. تقلّل الطلاءات المطابقة هذه المخاطر بتكوين حاجز على اللوحة، فتساعد في الحفاظ على متانة العزل والعمل طويل الأمد [1]، [4].

تقدّم هذه الورقة **طلاءً واقياً قائماً على البلاستيك يُطبَّق بدون حرارة**. وخلافاً للأغشية الرقيقة جداً التي تعمل أساساً كعازل سطحي، صُمّم النظام كـ**طبقة معزّزة قابلة للبناء** تجمع الحماية البيئية والميكانيكية، مع مسار واضح للتحقّق وفق المعايير.

2. آليات أعطال اللوحات أثناء الخدمة

2.1 الرطوبة والتلوّث الأيوني. الرطوبة الممتصّة مع البقايا الأيونية (فلَكس، أملاح، ملوّثات) تخفض **مقاومة العزل السطحية (SIR)** بين الموصلات، مسبّبةً تيارات تسرّب تزيح نقاط التشغيل وتؤدي إلى الأعطال [4]، [5].

2.2 الهجرة الكهروكيميائية والتغصّنات. تحت الجهد والرطوبة تهاجر أيونات المعدن وتترسّب كتغصّنات موصلة تجسر الموصلات، فتنتج قصراً متقطّعاً أو دائماً. الطلاءات التي تحدّ من أغشية الرطوبة وحركة الأيونات تكبح ذلك.

2.3 التآكل وCAF. تُتلف الرطوبة والتلوّث النحاس؛ وداخلياً قد يتكوّن خيط أنودي موصل على واجهة الزجاج-الراتنج. كلاهما يقصّر العمر، خاصةً في التصاميم الدقيقة.

2.4 الإجهاد الحراري والميكانيكي. تضخّ الدورات الحرارية الهواء الرطب عبر الصناديق، بينما تفرض المناولة والاهتزاز والتآكل أحمالاً ميكانيكية. الطلاء الذي يضيف **متانة ميكانيكية بعد الجفاف** يعالج الاثنين.

3. الطلاءات المطابقة: الوظيفة وفئات المواد

الطلاءات المطابقة طبقات بوليمرية رقيقة تتبع المجموعة. الفئات الشائعة هي **الأكريليك والسيليكون والبولي يوريثان والإيبوكسي وparylene**، يوازن كل منها الحماية من الرطوبة والمقاومة الميكانيكية والكيميائية ونطاق الحرارة والإصلاح بشكل مختلف [1]، [4]. عملياً كثير من الطلاءات أغشية شفافة فائقة الرقّة للرطوبة والتلوّث الخفيف؛ تعطي حماية ميكانيكية قليلة ولا تُخفي تصميم اللوحة. وهذا يترك فجوة للتطبيقات التي تحتاج حماية من الماء والرطوبة وتعزيزاً ميكانيكياً وسرية تصميم معاً.

4. نظام طلاء MGCoat

4.1 مفهوم المادة. إن MGCoat Liquid PCB Plastic Coating **طلاء واقٍ غير شفاف قائم على البلاستيك** يتصلّب في درجة حرارة الغرفة إلى طبقة معزّزة. صُمّم ليُبنى **على عدة طبقات**، مطابقاً السماكة والحماية للتطبيق، ويدعم **الغمس والرش والفرشاة** للإنتاج والإصلاح.

4.2 المواصفات. التالي مواصفات الشركة المصنّعة ونتائج ملاحظة.

الأساس / المظهر	قائم على البلاستيك، غير شفاف (أبيض أو أسود أو رمادي)
طريقة التطبيق	الغمس أو الرش أو الفرشاة
درجة حرارة التطبيق	بدون حرارة، 15–45°م (المثلى 25–35°م)
الجفاف الأولي	8–10 دقائق
الجفاف الكامل (أقصى قوة)	12 ساعة
السماكة لكل طبقة	20–200 ميكرون (العادي 50–100)
الطبقات الموصى بها	2–4، ~10 دقائق بين الطبقات
التغطية	≈ 1 لتر لكل 1 م² عند 300–500 ميكرون
درجة حرارة التشغيل (بعد الجفاف)	−55°م إلى +90…110°م
قابلية الإزالة	يُزال بمذيب خاص
مدة الصلاحية	5 سنوات (مغلق)

4.3 منهجية التطبيق ودرجات الحماية. تُحدَّد الحماية بعدد الطبقات لبيئة وجهد تشغيل مستهدفين، مع جفاف قصير بين الطبقات. وبعد الطلاء يُفحص بصرياً للتأكد من التغطية الكاملة دون هواء.

البيئة	الجهد	الطبقات
غمر كامل في الماء	220 AC فولت	4
غمر كامل في الماء	≤ 24 DC فولت	3
مقاومة المطر/الرذاذ	220 AC فولت	2
مقاومة المطر/الرذاذ	≤ 24 DC فولت	2

5. إطار تقييم الموثوقية

ينبغي تقييم الأداء بأطر معترف بها لا بادّعاء عام بأنه «مقاوم للماء». يحدّد **IPC-CC-830** التأهيل والمطابقة لمركّبات العزل على المجموعات المطبوعة [1]. ويعرّف **IEC 61086-1** طلاءات

اللوحات المجهّزة ويصنّفها؛ ويضع **IEC 61086-3-1** مواصفات المواد للاستخدامات العامة وعالية الموثوقية والفضائية [2]، [3]. تشمل الطرق **مقاومة العزل السطحية** ([5] IPC-TM-650 2.6.3)، والرطوبة والحرارة الرطبة، والدورات الحرارية، والالتصاق، والمتانة الميكانيكية، ومقاومة التلوّث والرذاذ الملحي، والأشعة فوق البنفسجية، والاختبار الوظيفي بعد الغمر، والتحقّق من القصر.

> **ملاحظة حول الادّعاءات.** الأرقام هنا مواصفات الشركة المصنّعة ونتائج داخلية، **وليست** شهادة طرف ثالث. ويُوصى بالتأهيل المستقل وفق IEC 61086 / IPC-CC-830 عند الحاجة للامتثال الرسمي.

6. الموضعة المقارنة

مقارنةً بالأغشية الشفافة الرقيقة، يُوضَع النظام كطبقة بلاستيكية معزّزة بحماية مدمجة. أبرز الفروق:

الخاصية	غشاء رقيق نموذجي	طلاء MGCoat
التصلّب	غالباً حرارة/UV أو طويل	بدون حرارة، حرارة الغرفة
الطبقة	غشاء سطحي رقيق جداً	معزّز 20–200 ميكرون، متعدد الطبقات
الحماية الميكانيكية	محدودة	صلب، مقاوم للتآكل
التعرّض للماء	رطوبة / رذاذ خفيف	من المطر إلى الغمر (درجات)
بصرياً	شفاف	غير شفاف (إخفاء التصميم)
التطبيق	غالباً رش فقط	غمس / رش / فرشاة
الإصلاح	متغيّر	يُزال بمذيب

7. القيود والسلامة والتحقّق الموصى به

الصدق الهندسي جزء من المصداقية. المنتج **قائم على البلاستيك، وكمعظم اللدائن قابل للاشتعال نوعاً ما في الحالة السائلة** — يجب ألّا يتعرّض السائل للهب؛ وبعد الجفاف يصبح غشاءً مستقراً يحمي حتى التعرّض لحرارة فوق ~120°م أو خدش قاسٍ (مثقاب/شفرة). والعزل المائي **لا يغني عن تصميم السلامة الكهربائية**: يجب تقييم الجهد والتيار ومسافات الزحف/الخلوص والموصلات ووصول المستخدم على حدة. وللغمر العميق يجب عزل المجموعة كاملةً دون هواء. ويعتمد الأداء

على تحضير السطح والحجب والتغطية الكاملة. وللاعتماد الرسمي يُوصى باختبارات طرف ثالث وبيانات دفعات موثّقة.

8. الخلاصة

إن **طلاءً قائماً على البلاستيك وبدون حرارة ومتعدد الطبقات**، معزّزاً ميكانيكياً بعد الجفاف، متدرّجاً من مقاومة المطر إلى الغمر الكامل، غير شفاف لحماية التصميم وقابلاً للإزالة بمذيب، يقدّم مساراً صناعياً عملياً يعالج الإجهاد البيئي والميكانيكي معاً — وهي فجوة لا تغطّيها الأغشية الشفافة الرقيقة تماماً. وبوضعه ضمن أطر IPC-CC-830 وIEC 61086 ودعمه باختبارات موثّقة، يناسب إلكترونيات السيارات والصناعة والبحر وLED والأنظمة بدون طيّار.

المراجع

1. IPC-CC-830, *Qualification and Performance of Electrical Insulating Compound for Printed Wiring Assemblies*, IPC.
2. IEC 61086-1, *Coatings for loaded printed wire boards (conformal coatings) — Part 1: Definitions, classification and general requirements*, IEC.
3. IEC 61086-3-1, *Coatings for loaded printed wire boards — Part 3-1: Specifications for individual materials — general purpose, high-reliability and aerospace applications*, IEC.
4. IPC-HDBK-830, *Guidelines for Design, Selection and Application of Conformal Coatings*, IPC.
5. IPC-TM-650, *Test Methods Manual* (e.g., Method 2.6.3, Surface Insulation Resistance), IPC.