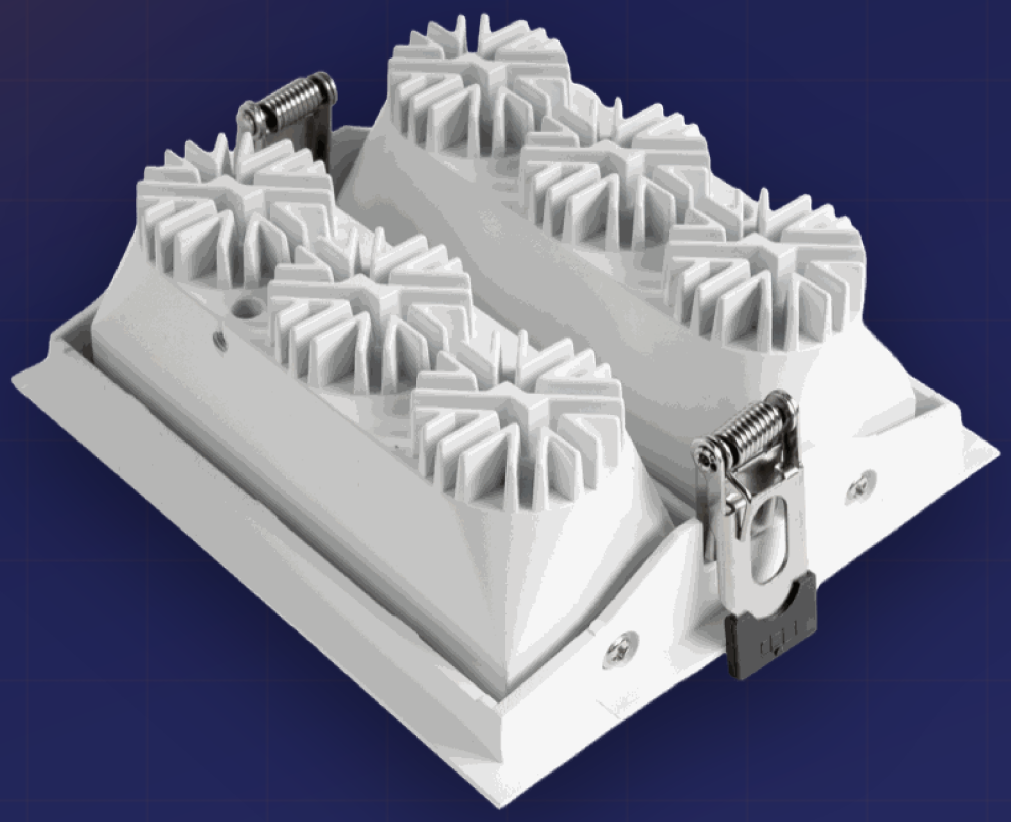


وحدة الإنارة الغاطسة NLC MINI من الخلف: مبدّد حراري من الألمنيوم المزعنف لكل وحدة LED.

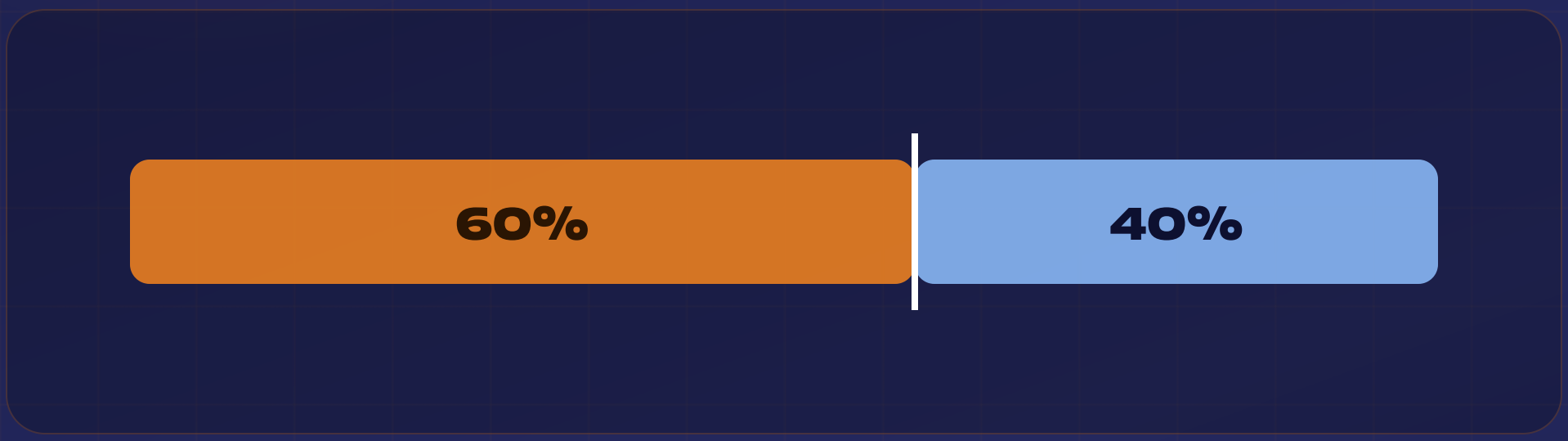
أكاديمية NLC | الحلقة 20

أنت تشتري اللومن،
والمعدن يقرّر إلى متى تحتفظ به.

معظم القدرة التي تسحبها شريحة LED تخرج حرارةً، وليس أمام هذه الحرارة إلا مخرج واحد: المعدن الذي ثُبّتت عليه الشريحة. في هذه الحلقة نتتبّع الحرارة من الوصلة إلى الهواء الخارجي، وننتهي عند الرقم الذي يستحق أن تسأل عنه كل مورّد.

الطاقة

معظم ما تدفع ثمنه يخرج حرارة.



النور، الخرج البصري فوق 40%

الحرارة من 50 إلى 60%

1. تذكر Cree أن شرائح XLamp البيضاء تتجاوز كفاءتها 40 بالمئة، وأن نحو 50 إلى 60 بالمئة من القدرة الداخلة تخرج حرارةً. ولأغراض تحجيم المبدّد الحراري توصي Cree بافتراض متحفّظ: 25 بالمئة نورًا و75 بالمئة حرارة. [1]

2. ولا تظهر هذه الحرارة كلها عند الوصلة؛ فجزء منها يتحرّر في طبقة الفوسفور بفقد ستوكس أثناء تحويل الطول الموجي، ولهذا يهمّ المسار الحراري للحزمة كلها لا تبريد الرقاقة وحدها. [2]

الكفاءة الإشعاعية (الواطات البصرية الخارجة لكل واط كهربائي داخل) ليست الفعالية الضوئية بوحدة lm/W. اذكر دائمًا المقسوم عليه: حزمة بيضاء دافئة عند 165 lm/W (DOE 2020، عند 25 °C) تعادل نحو 51 بالمئة من 323 lm/W، وهي الفعالية الضوئية للإشعاع لأبيض نموذجي بفوسفور عند 3000 K و80 CRI، لكنها نحو 40 بالمئة فقط من سقف 414 lm/W لأبيض مثالي بمزج الألوان. [2]

المبدّد الحراري ليس زخرفة. هو المخرج الوحيد أمام الحرارة.

المسار

من الوصلة إلى الهواء: سلسلة من المقاومات.



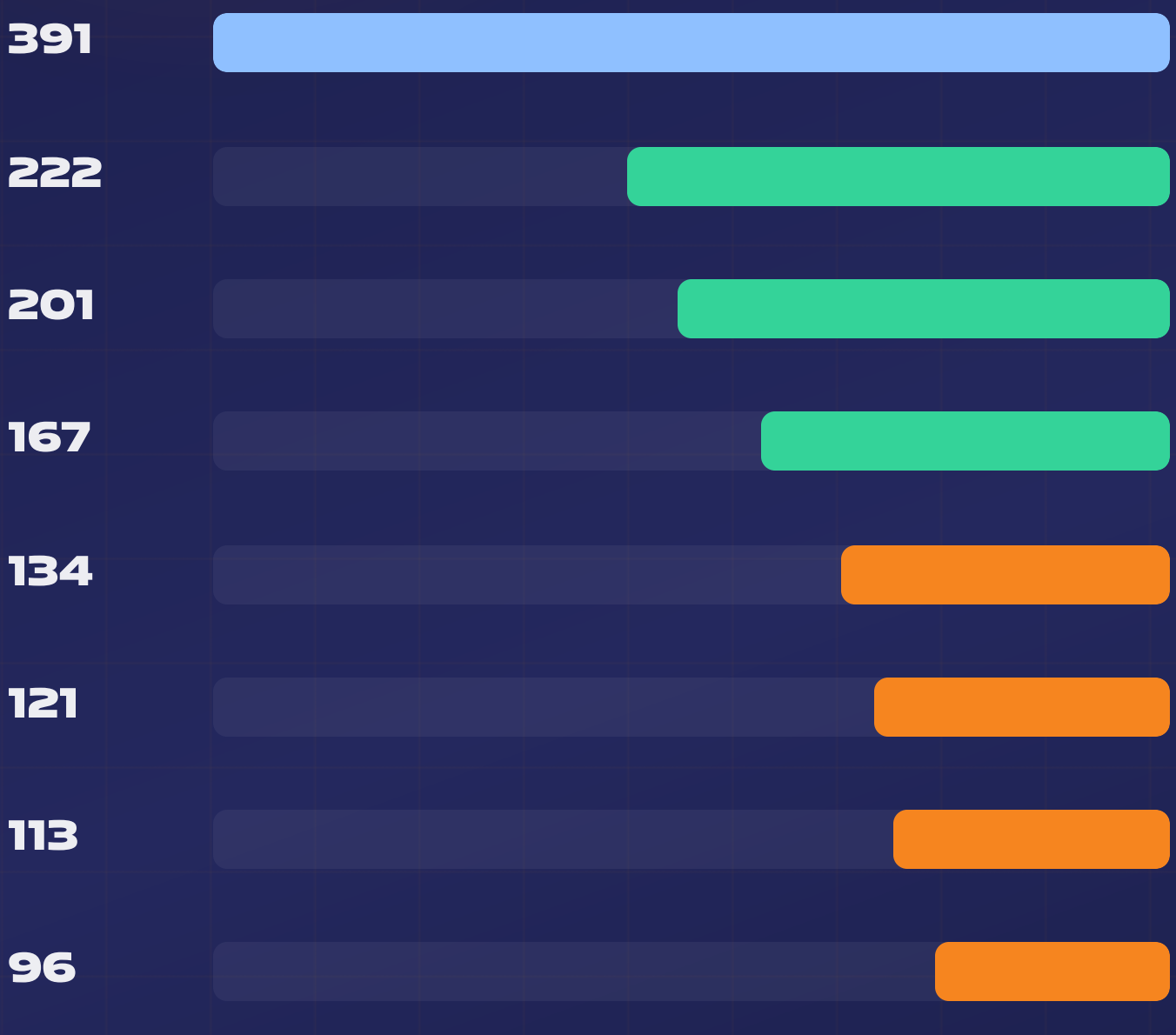
من المبدّد إلى الهواء	اللوحة والتثبيت	حزمة LED
7.1 K/W	1.9 K/W	3.0 K/W

الرمز Rth يُذكر لكل حلقة على حدة. اجمع الحلقات لتحصل على Rth j-a ثم احسب Tj = Ta + Rth j-a × P. [4] والنسب هنا تتبع اختبار Cree لشريحة XP-E على لوحة نجمية بقلب معدني، اللوحة والمبدّد مقاسان والحزمة من ورقة البيانات: نحو 25 بالمئة للحزمة، و16 بالمئة للوحة والتثبيت، و59 بالمئة للمبدّد الحراري. [3]

الوصلة لا تسخن بطبيعتها. **بل تستقر حيث تضعها السلسلة.**

المعدن

ليست كل سبائك الألمنيوم سواءً في التوصيل.



نحاس C11000
مرجع، نحاس ETP

1100
صفائح، حالة O

6063
مبثوق، حالة T6

6061
مشغّل آليًا، حالة T6

B390
سبك بالقالب

A413
سبك بالقالب

A360
سبك بالقالب

A380
سبك بالقالب

قيم نمطية قرب حرارة الغرفة بوحدة W/m·K. بيانات Kaiser [5] وCDA [23] مذكورة عند 20 °C، وصفوف السبك بالقالب من NADCA [6] قيم نمطية بحالة السبك دون حرارة اختبار مطبوعة. والتوصيل يعتمد على حالة المعالجة لا على السبيكة وحدها، لذا يذكر كل صف حالته. والفارق بين صفوف الألمنيوم نحو 2.3 ضعف، لا خمسة أضعاف.

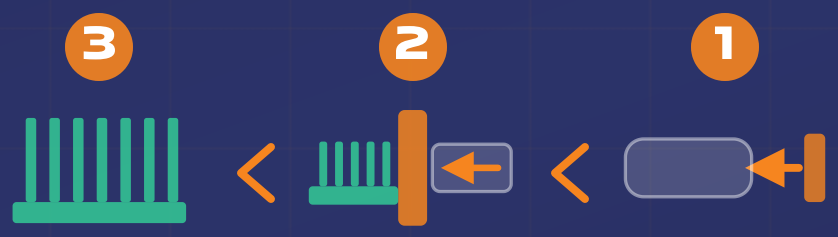
الزعنفة المبثوقة توصّل نحو **2.1 ضعف ما يوصّله الغلاف المصبوب.** المعدن نفسه، وسبيكة مختلفة.

العملية

الشكل الذي تحتاجه هو الذي يختار السبيكة.

البثق

سبائك مشغولة من عائلة 6xxx

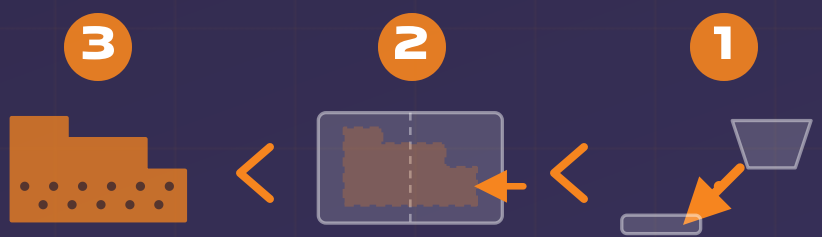


سبيكة نمطية 6063-T6: 201 W/m·K

مقطع واحد ثابت يُدفع عبر قالب. تبقى السبيكة نقية نسبيًا فيبقى التوصيل عاليًا، وتستطيع الزعانف أن تمتد طويلة. لكنه لا يغلق طرفيه بنفسه: فالغلاف المحكم يحتاج تشغيلًا آليًا أو أغطية طرفية أو عملية أخرى. [24][5]

السبك بالقالب تحت الضغط

سبائك سبك غنية بالسيليكون



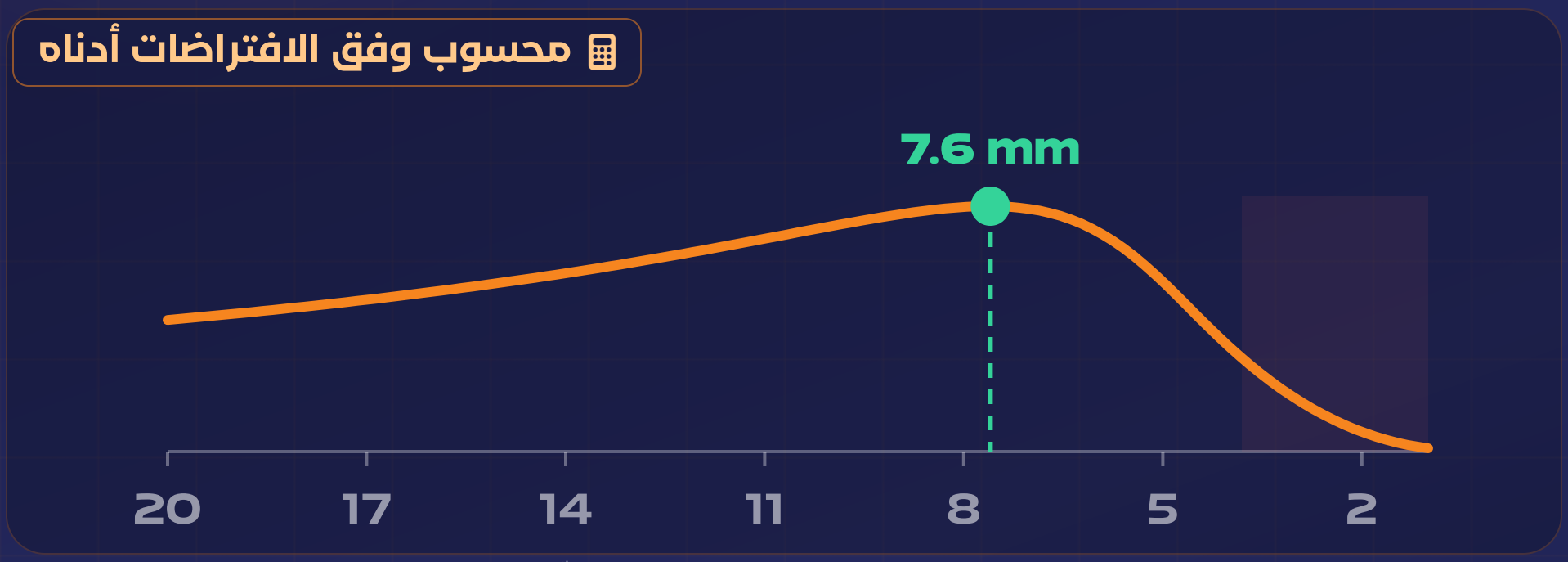
سبيكة نمطية A380: 96 W/m·K

معدن منصهر يُدفع في تجويف معقّد. والمقاطع الرقيقة تمتلئ على أفضل وجه بالسبائك عالية السيليكون، وكل عنصر سبائكي (السيليكون والنحاس والزنك والحديد) يشتّت الإلكترونات التي تحمل الحرارة. تشتري الشكل وتدفع ثمنه من قيمة W/m·K. [6][25][26]

الغلاف المصبوب ليس مبدّدًا أرخص. **بل مفاضلة هندسية مختلفة.**

الهندسة

زيادة الزعانف ليست زيادة في التبريد.



تبديد المصفوفة (نسبي) مقابل تباعد الزعانف بالمم. المظلل: القنوات تختنق.

L = 150 mm | dT = 40 K | عمودي | Bar-Cohen & Rohsenow [18]

1 إذا تزاحمت الزعانف اختنقت القنوات بينها: تندمج الطبقات الحدّية، ويتباطأ تيار الحمل في القناة، فيهبط التبديد الكلي رغم أن مساحة الزعانف الكلية ازدادت. وتضع Lumileds الحدّ الأمثل عند نحو 6 إلى 10 مم من الفراغ الحر، ودونه يُعاق سريان الهواء. [8][7]

2 وارتفاع الزعنفة تحدّه كفاءة الزعنفة وتراجع معامل الانتقال: فبعد ارتفاع معيّن لا يضيف مزيد الزعنفة شيئًا. [8] والعائد أقل من خطي: بيانات Mehrtash & Tari لمصفوفات الزعانف تتناسب مع نحو H^0.68، فمضاعفة الارتفاع تكسب نحو 60 بالمئة لا 100. [9]

انشر نطاقًا لا رقمًا: **من 6 إلى 10 مم لقنوات عمودية بطول نحو 100 إلى 300 مم، ونحو 8 مم افتراضيًا.** وإذا لم تتيقّن فوسّع: فالعقوبة بعد الحدّ الأمثل خفيفة.

اللوحة

اللوحة تحت شريحة LED جزء من المبدّد الحراري.



لوحة FR-4 بفتحات حرارية

لوحة بسماكة 1.6 مم، 14 فتحة مطليّة، نحاس 4 oz

اللوحة مع واجهة التثبيت، قياس. الأقل أفضل.

8.40 °C/W

ليست ميؤوسًا منها. ففي دراسة منفصلة لدى TI (TIDA030) قُدّرت لوحة FR-4 رقيقة بسماكة 0.84 مم عند 3.76 °C/W مقابل 4.23 °C/W لبنية معدنية عازلها أسمك مما تحتاج. منتج وطريقة مختلفان، لا هذا الرسم. [10]



لوحة بقلب معدني (MCPCB)

عازل رقيق على قاعدة ألمنيوم

اللوحة مع واجهة التثبيت، قياس. الأقل أفضل.

3.81 °C/W

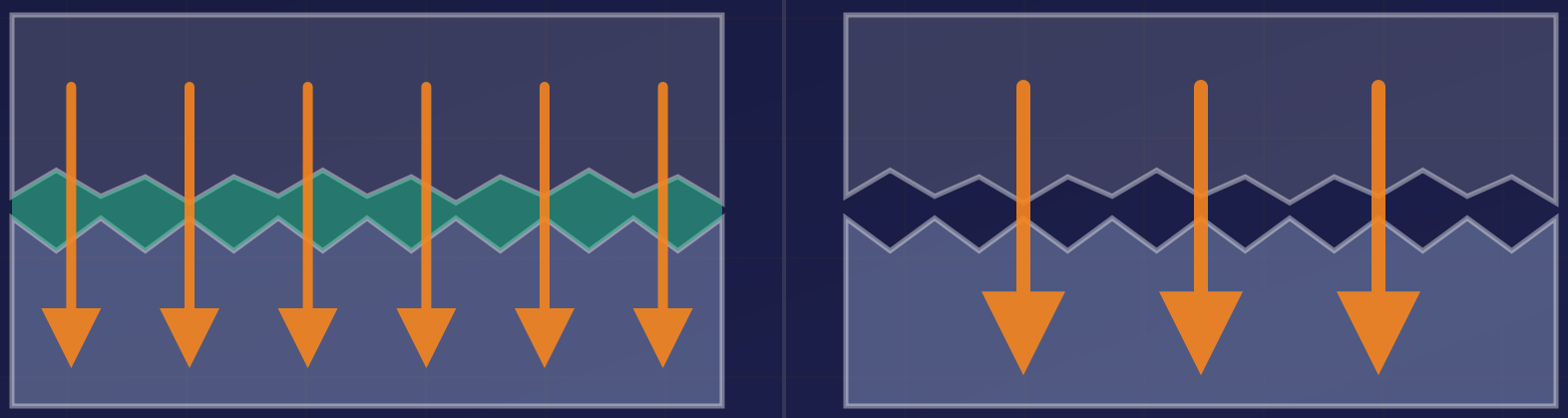
عازل رقيق فوق معدن مصمت، وهو الحلقة الخفية: 76 µm عند 0.58 °C·cm²/W مقابل قاعدة ألمنيوم بسماكة 1.6 مم: العازل وحده نحو خمسة إلى سبعة أضعاف مقاومة القاعدة. [11]

الأعمدة: مقاومة اللوحة مع واجهة التثبيت المقاسة من Cree، لوحة FR-4 بسماكة 1.6 مم، شريحة XP-E عند 0.7 A. الأقل أفضل، وتتفوّق اللوحة ذات القلب المعدني. والفتحات محدودة عند 5 W للشريحة. [3]

في الحمل الطبيعي يبقى المبدّد الحراري هو المهيمن: 31.8 من 39.1 °C/W في بنية TI المعدنية. عالج الحلقة الأكبر أولًا. [10]

الوصلة

السطحان المستويان ليسا متطابقين أبدًا.



وصلة عارية: الهواء يملأ الفجوات، والحرارة تعبر من نقاط تماس قليلة

1. لا يتلامس السطحان المشغولان إلا عند نتوءاتهما العالية، وبقية المساحة الاسمية هواء. وفي اختبار مخبري قاست وصلة جافة 2.9 °C/W من الغلاف إلى المبدّد مقابل 0.9 °C/W مع الشحم، فارتفع المسار كله من الوصلة إلى المحيط بنسبة 22 بالمئة. [12]

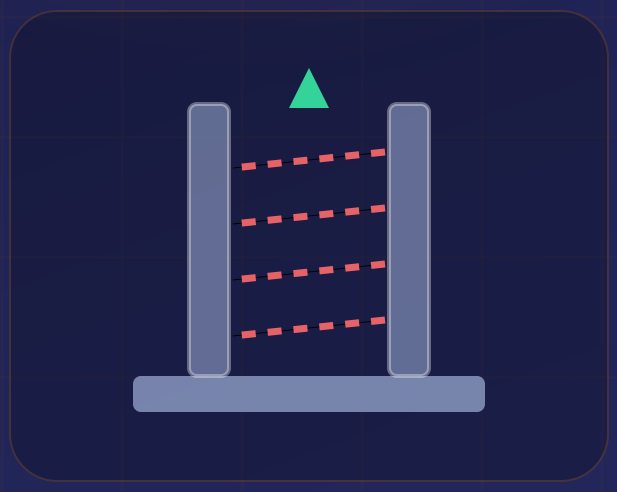
وصلة معبّأة: مادة الواجهة تزيح الهواء، والحرارة تعبر المساحة كلها

2. والتوصيل الحجمي بوحدة W/m·K معيار اختيار خاطئ. فمادة مرنة بتوصيل 5 W/m·K مثبّتة بضغط منخفض قاست ضعف مقاومة الشحم لأن أقل من 30 بالمئة منها كان ملامسًا فعلًا. حدّد المقاومة عند سماكة وصل وضغط تثبيت معلومين. [13][12]

رقم مادة الواجهة بلا مساحة لا معنى له. **اطلبه بوحدة °C·cm²/W ثم اقسمه على مساحة التماس الفعلية.**

التشطيب

الإشعاع ليس هامشًا يُهمل.



الانبعاثية، من 0 إلى 1

ألمنيوم خام، قيمة مرجعية — 0.09

سطح مؤنود — 0.85

1 الطبقة الأنودية الكبريتية بسماكة معتادة ترفع الانبعاثية إلى نحو 0.83 إلى 0.86، والذي يفعل ذلك هو طبقة الأكسيد لا الصبغة: فالأنودة الشفافة المقاسة تشعّ بكفاءة تقارب السوداء، 0.76 إلى 0.84 مقابل 0.82 إلى 0.86. [14][27][28]

2 وعلى مبدّد حراري صغير بالحمل الطبيعي مع تشطيب انبعاثيته 0.85 حمل الإشعاع 28 إلى 30 بالمئة من التبديد الكلي بين 5 و25 W، وكلّف تركه خامًا قرابة 30 °C في ذلك المثال المحسوب. [15]

والألمنيوم الخام ليس رقمًا واحدًا: قاست دراسة مقطعًا مبثوقًا جديدًا عند 0.02 [14]، وتضع المراجع الصفائح التجارية قرب 0.09 [15]، والمصقول جدًا بين 0.04 و 0.06 [28]. ثم إن الزعانف العميقة المتقاربة تشعّ معظمها بعضها على بعض، فيتبع الخرج الإشعاعي معامل رؤية القناة لا مساحة الزعانف الكلية. [29][30]

في الخارج حدّد **تشطيبًا عالي الانبعاثية فاتح اللون**: أنودة شفافة أو فاتحة، أو طلاء بودرة فاتحًا. ولا خامًا ولا مصقولًا كالمرآة أبدًا، فالتشطيب الداكن يضيف حملًا شمسيًا. [16]

حرارة المحيط

كل رقم حراري مذكور عند حرارة محيط بعينها.





غرفة اختبار بيئية: تعمل الوحدة بتيارها المقرّر بينما تثبّت الغرفة حرارة محيط محددة، وهكذا تُثبت أقصى حرارة محيط بدل افتراضها.

مثال محسوب، اصطلاح القدرة الكهربائية: 10 W في سلسلة مقدارها 12.0 K/W تضيف 120 K أيًّا كانت حرارة المحيط؛ وخط 150 °C هو حدّ شرائح Cree XLamp، وشرائح القدرة المتوسطة كثيرًا ما تُقرَّر عند 125 °C. وحرارة التصميم الجافة في الرياض وفق ASHRAE 2025 (نسبة 0.4 بالمئة) هي 45.0 °C، والوحدة على سطح مشمس أسخن من الهواء، ومن هنا عمود 50 °C؛ فقيمة 25 °C هي افتراض IEC 60598-1 للوحدات غير الموسومة، لا حرارة محيط خليجية. [19][17]

وحدة مؤهّلة عند 25 °C **ليست مؤهّلة لسطح مبنى خليجي.**

من تشكيلة NLC

أربعة هياكل، وأربع درجات محيط منشورة.

CONTRAST



إنارة أرضية غاطسة،
96 W (48×2 W)

+45 °C

الهيكل: ألمنيوم مبثوق +
فولاذ مقاوم للصدأ 316

CENTURY



إنارة خطية معلّقة،
36-54 W

من 30 °C- إلى 50 °C+

الهيكل: ألمنيوم مبثوق

COMET



إنارة شوارع، 50-300 W

من 40 °C- إلى 55 °C+

الهيكل: ألمنيوم مصبوب

DIAMOND PRO



إنارة الأسقف العالية
(High Bay)،
100-240 W

من 30 °C- إلى 60 °C+

الهيكل: ألمنيوم مصبوب

صفّا الهيكل ودرجة حرارة التشغيل منقولان من صفحة كل منتج في NLC. ويشترط IEC 60598-1 وسم ta فقط حين تخالف القيمة 25 °C، فالوحدة المقرّرة عند 25 °C بالضبط لا تحمل الوسم أصلًا، وغياب الوسم ليس غياب التصنيف. [19]

أقصى حرارة محيط منشورة هي **أسرع سؤال حراري يمكنك طرحه.**

قبل التوقيع

خمسة أسئلة تُبقي المعدن صادقًا.

- ▢ اطلب **أقصى حرارة محيط منشورة** (ta) وقارنها بموقع التركيب الفعلي. وغياب الوسم يعني 25 °C، لا «أي حرارة محيط». [19][22]
- ▢ اطلب **قياس الحرارة في موضع التشغيل الفعلي داخل الوحدة** (ISTMT) وفق ANSI/IES LM-98-24 عند نقطة قياس أسخن شريحة، بالتيار المقرّر، عند حرارة محيط التصميم. ثم تقرير LM-80-21 المقابل: ثبات التدفق واللون عند درجات حرارة غلاف محددة، لا الحرارة التي تبلغها الشريحة في وحدتك. [20][21]
- ▢ اسأل عن **سبيكة الهيكل وحالة معالجتها**. [5] ومقياس التوصيلية بالتيار الدوامي (%IACS, ASTM E1004) يفحص المصبوب الوارد دون إتلاف، مقروءًا مقابل القيمة المعلنة مع فحص صلادة. [31]
- ▢ اطلب **مقاومة اللوحة الحرارية**، و**مقاومة مادة الواجهة عند ضغط ومساحة معلومين**، لا التوصيل الحجمي W/m·K وحده. [10][13]
- ▢ ممارستنا: **تجنّب تعديل الغلاف** ما أمكن. وإن استلزمت طريقة الاختبار المعتمدة فتحة وصول فاجعلها بأصغر قدر، وأعد إحكامها ووثّقها؛ ولا تستنتج مطابقة درجة الحماية IP من عيّنة معدَّلة.

المصادر

كل رقم في هذه الشرائح له مصدر.

[1] Cree, XLamp thermal management · [2] US DOE, 2022 SSL R&D · [3] Cree, XLamp PCB thermal

[4] JEDEC JESD51-14 · [5] Kaiser Aluminum, alloy data · [6] NADCA, die-cast alloy data

[7] Lumileds WP31, heat sink design · [8] Bar-Cohen, Iyengar & Kraus 2003 · [9] Mehrtash & Tari 2013

[10] TI TIDA030, FR-4 vs IMS · [11] Bergquist MP-06503 TDS · [12] deSorgo 1996, TIM

[13] Blazej 2003, TIM · [14] Gustavsen & Berdahl · [15] HeatSinkCalculator, radiation

[16] LBNL cool roofs · [17] ASHRAE 2025, Riyadh KKIA · [18] Bar-Cohen & Rohsenow 1984

[19] IEC 60598-1:2024 · [20] ANSI/IES LM-98-24 · [21] ANSI/IES LM-80-21 · [22] IEC 62722-2-1:2023

[23] CDA, C11000 · [24] AAC, Extrusions Manual · [25] Zhang 2022, Al-Si · [26] Luo 2022, Al-Si

[27] ATS Qpedia, anodising · [28] Design1st, emissivity table · [29] Lasance 2016

[30] Shabany 2008, fin radiation · [31] ASTM E1004-23, eddy current

أوراق بيانات المنتجين والمعايير وقياسات منشورة من المصنّعين، جُلبت وروجعت واحدة واحدة. والمعايير مذكورة بمراجعاتها السارية. والاقتباسات الكاملة والروابط وتواريخ الوصول في صفحة الحلقة.

معرفة عملية في هندسة الإنارة

احفظها. وأرسلها إلى زميل.

اقرأ المقال الكامل للحلقة

https://nlc.com.sa/ar/academy/metal-and-thermal-conductivity.html

الحلقة القادمة
الوميض