

Gestione Termica di LED: Guardando Oltre i Valori di Conduttività Termica

Prodotti chimici progettati e formulati in modo specifico sono ampiamente usati nell'industria elettronica, per una vasta gamma d'applicazioni. Sia durante la fabbricazione di PCB sia per la protezione di componenti o di dispositivi completi, tali prodotti sono diventati un fattore essenziale nell'assicurare la prestazione e la qualità di dispositivi elettronici.

Il tema dell'articolo consiste nel discutere l'impiego di questi prodotti di particolare formulazione chimica per applicazioni di gestione termica, in modo specifico all'interno dell'industria dei LED in rapida espansione. Come siamo tutti consapevoli, i LED sono presenti in molti dispositivi elettronici, da parecchi anni. Gli sviluppi più recenti in quest'industria hanno portato alla loro vasta gamma d'applicazioni in tutti i tipi d'illuminazione, nei prodotti per segnaletica e negli apparecchi domestici, per citarne alcune. Nell'offrire alternative ai sistemi d'illuminazione con lampade alogene, ad incandescenza e fluorescenti, per applicazioni sia in interno sia in esterno, le possibilità offerte dai LED sono apparentemente infinite. I LED offrono vantaggi rispetto alle forme d'illuminazione tradizionali in termini d'adattabilità – permettendo una maggior libertà di progetto grazie al minor spazio richiesto ed alla vita eccezionalmente lunga - dando luogo a soluzioni economiche per molte applicazioni. Essi sono anche considerevolmente più efficienti, convertendo la maggior parte dell'energia in luce e minimizzando quindi la generazione di calore.

Sebbene i LED siano considerevolmente più efficienti delle tradizionali forme d'illuminazione, essi producono ancora del calore. Questo calore può avere un effetto sfavorevole sul LED e deve quindi essere gestito per assicurare i veri benefici forniti da questa tecnologia. Tipicamente caratterizzati dalla temperatura di colore, i LED sono disponibili in un ampio numero di varianti di colore. Con una variazione nella temperatura di lavoro del LED si avrà una variazione nella temperatura di colore; ad esempio, nel caso di luce bianca, un aumento della temperatura potrebbe comportare un colore "più caldo" emesso dal LED. Inoltre, se è presente una variazione nelle temperature dei die attraverso i LED del medesimo array, può essere emessa una gamma di temperature di colore che influenza la qualità e l'appearance cosmetica del dispositivo.

Il mantenimento della corretta temperatura di die del LED può non solo allungare la vita ma comporta anche una maggior produzione di luce; quindi, possono essere richiesti meno LED per ottenere l'effetto desiderato. Un aumento nella temperatura operativa può quindi avere un effetto recuperabile sulle proprietà del LED, ma se si raggiungono temperature di giunzione eccessive, in particolare superiori alla massima temperatura operativa del LED (~120 -150°C), si potrebbe avere un effetto non recuperabile, arrivando al guasto totale. La temperatura operativa è direttamente correlata alla vita del LED; più alta è la temperatura, più breve è la vita del LED. Assicurando che sia usata un'efficiente gestione termica si avrà qualità consistente, appearance e vita degli array di LED e, a sua volta, si aprirà l'opportunità di ulteriori applicazioni per quest'industria in continua evoluzione.

I principi del trasferimento termico possono essere discussi in dettaglio ma, per lo scopo di quest'articolo, tratteremo brevemente le nozioni di base: *conduzione* (calore trasferito attraverso una massa solida per contatto diretto – Legge di Fourier), *convezione* (trasferimento di calore attraverso il movimento di fluidi e gas – Legge di Newton) e *radiazione* (il calore è trasferito attraverso un campo elettromagnetico). Tipicamente la radiazione ha un effetto molto modesto sul trasferimento di calore di sistemi LED poiché le aree superficiali sono relativamente piccole cosicché, nel nostro caso, siamo

$$q = -k A (\Delta T/s)$$

legge di Fourier della conduzione di calore

q è il calore trasferito per conduzione (W)

k è la conduttività termica (W/mK)

A è l'area della sezione trasversale del materiale attraverso cui fluisce il calore (m²)

ΔT è la differenza di temperatura attraverso il materiale (°C o K)

S è lo spessore del materiale (m)

più interessati ai principi di conduzione e convezione. La conduzione si riferisce al trasferimento di calore alla giunzione del LED, fra il LED ed il dissipatore di calore, mentre la convezione si riferisce al trasferimento di calore dal dissipatore di calore verso l'aria che lo circonda.

La legge di Newton riguardante il raffreddamento stabilisce che il tasso di perdita di calore è

$q = h A \Delta T$
Legge di Newton sul Raffreddamento - Convezione
q è il calore trasferito tramite convezione (W)
h è il coefficiente di trasferimento del calore ($W/m^2 K$)
A è l'area della superficie (m^2)
ΔT è tipicamente la differenza di temperatura fra la temperatura della superficie e quella dell'ambiente ($^{\circ}C$ o K)

proporzionale alla differenza di temperatura fra il corpo e ciò che lo circonda. Quindi, poiché la temperatura di un componente aumenta e raggiunge il suo punto d'equilibrio, il tasso della perdita di calore per secondo equivarrà al calore prodotto per secondo dentro il componente. Poiché il calore è rilasciato da un componente verso ciò che lo

circonda presso la sua superficie, il tasso di dissipazione aumenterà all'aumentare dell'area della superficie. Questo è il luogo dove sono usati i dissipatori di calore – variabili in dimensione e forma, i dissipatori di calore possono essere progettati per offrire un aumento significativo d'area della superficie per massimizzare la dissipazione del calore. I dissipatori di calore sono usati spesso in applicazioni LED e sono fissati sul retro del componente. Idealmente, queste superfici di contatto dovrebbero essere perfettamente lisce per migliorare l'efficienza di conduzione del calore, ma di solito questo non è possibile. Come risultato, saranno presenti gap d'aria all'interfaccia del dispositivo e del dissipatore di calore, riducendo in modo significativo l'efficienza di trasferimento del calore.

Ci sono molti modi per migliorare la gestione termica di prodotti LED; perciò, deve essere scelto il giusto tipo di materiale termicamente conduttivo al fine di assicurare che siano raggiunti i risultati desiderati per la dissipazione del calore. Quindi, i primi tipi di prodotto per la gestione termica di cui discuteremo sono i materiali d'interfaccia termica, quali un composto per il trasferimento di calore, per rimuovere ogni gap d'aria presente fra le superfici di contatto migliorando l'efficienza della conduzione di calore alla giunzione di LED. Tali composti sono progettati per riempire il gap fra il dispositivo ed il dissipatore di calore e quindi ridurre la resistenza termica alla superficie di giunzione fra i due. Questo comporta una perdita più rapida di calore ed una temperatura operativa più bassa per il dispositivo. Come materiali di giunzione possono essere usati anche prodotti per polimerizzazione: gli esempi includono i siliconi RTVs o i composti epossidici – la scelta dipenderà spesso dalla tenuta della giunzione o dalla gamma di temperatura operativa richiesta. Una possibilità è data anche da materiali solidi quali piazzole per riempimento gap e materiali a cambiamento di fase, dove sull'interfaccia è usato un substrato di film sottile. Quindi, una considerazione iniziale nella scelta del prodotto è la richiesta o meno di un prodotto polimerizzante, per favorire la tenuta in posizione del dissipatore di calore, oppure se sia più appropriato un materiale d'interfaccia termica non-polimerizzante per permetterne la rilavorazione.

Sono anche disponibili prodotti non-polimerizzanti siliconici o privi di silicone: i prodotti al silicone offrono un limite superiore di temperatura oltre i 200° ed un sistema di viscosità più basso, dovuto all'olio base di silicone usato. Questo ci porta al nostro prossimo dettaglio nella scelta di prodotto, come l'uso di prodotti basati su o contenenti silicone, che possono non essere autorizzati in certe applicazioni. Ciò potrebbe essere dovuto a vari fattori, inclusi i requisiti d'applicazione, oppure dove sono stati osservati problemi sorti in processi di lavaggio o con adesivi. Tali problemi sono dovuti alla migrazione di siloxani a basso peso molecolare; questi tipi di prodotto volatili possono abbassare la tensione superficiale di un substrato, rendendoli estremamente difficili da lavare o da aderirvi sopra. Inoltre, a causa della loro natura isolante, la migrazione di siloxani a basso peso molecolare può portare a guasti in applicazioni elettroniche. Qui, presso Electrolube, noi formuliamo prodotti partendo da materiali grezzi progettati appositamente per l'industria elettronica. Quindi, prodotti contenenti silicone sono utilizzati solo dove le frazioni a basso peso

molecolare sono monitorate e tenute ad un minimo assoluto. Come alternativa, è fornita anche una gamma di prodotti non-silicone per applicazioni critiche.

Altra opzione per gestire il trasferimento di calore al di fuori dei dispositivi elettronici consiste nell'utilizzo di una resina d'incapsulamento termicamente conduttiva. Questi prodotti sono progettati per offrire la protezione dell'unità dall'attacco ambientale permettendo allo stesso tempo che il calore generato dentro il dispositivo sia dissipato nel suo intorno. In questo caso, la resina d'incapsulamento diventa il dissipatore di calore e conduce l'energia termica fuori dal dispositivo. Tali prodotti possono essere usati per incapsulare la tecnologia alle spalle e quella attaccata al dispositivo LED e possono anche contribuire alla riflessione della luce dall'interno dell'unità, in funzione del colore scelto. Le resine d'incapsulamento comprendono anche l'uso di riempitivi termicamente conduttivi; in ogni caso, la resina di base, l'indurente ed altri additivi usati possono essere alterati per fornire un'ampia gamma d'opzioni incluse le chimiche epossidiche, poliuretaniche e silconiche.

Le differenti opzioni di chimica forniranno una gamma di proprietà e ciascuna dovrebbe essere considerata in funzione dei requisiti dell'applicazione finale. Ad esempio, un materiale poliuretano offre eccellente flessibilità, particolarmente alle basse temperature; un notevole vantaggio rispetto ad un sistema epossidico. Una resina al silicone può anche pareggiare questa flessibilità alle basse temperature oltre ad offrire prestazioni superiori alle alte temperature, ben più d'altre chimiche disponibili. I prodotti al silicone sono anche tipicamente più costosi. I sistemi epossidici sono molto robusti ed offrono eccellente protezione in una varietà d'ambienti ostili. Questi sono materiali rigidi con basso coefficiente d'espansione termica e, in alcuni casi, dentro il prodotto può essere formulato un grado di flessibilità. La formulazione di resine d'incapsulamento può dar luogo ad una vasta gamma di prodotti con proprietà ritagliate per applicazioni individuali e quindi si raccomanda che le applicazioni siano discusse in dettaglio con un fornitore di materiale pertinente.

Indipendentemente dal tipo di prodotto scelto per la gestione termica, ci sono alcune proprietà chiave che devono essere tenute in considerazione. Queste possono essere parametri abbastanza semplici, quali le temperature operative del dispositivo, i requisiti elettrici o qualsiasi vincolo di processo – viscosità, tempo di polimerizzazione, ecc. Altri parametri sono più critici per il dispositivo ed un solo valore può non essere sufficiente per specificare il prodotto giusto. La conduttività termica è un esempio primario di ciò. Misurata in W/m K, la conduttività termica rappresenta la capacità di un materiale di condurre calore. La maggior parte dei valori di conduttività termica, che si trovano sui datasheet di quasi tutti i prodotti, forniscono una buon'indicazione del livello di trasferimento di calore atteso, permettendo la comparazione fra materiali differenti. Comunque, affidandosi ai soli valori di conduttività termica non si avrà

$\Theta = L/k A$ <p>Resistenza Termica del Materiale d'Interfaccia</p> <p>Θ è la resistenza termica del materiale d'interfaccia (K m²/W) L è lo spessore del materiale d'interfaccia (m) K è la conduttività termica del materiale d'interfaccia (W/m K) A è l'area della superficie (m²)</p>

necessariamente come risultato il trasferimento di calore più efficiente.

La resistenza termica, misurata in K m²/W, è il reciproco della conduttività termica. Essa tiene conto dello spessore interfacciale e, sebbene sia dipendente dalle superfici di contatto e dalla pressione applicata, si possono seguire alcune regole generali per assicurare

che i valori di resistenza termica siano tenuti ad un minimo, massimizzando quindi l'efficienza del trasferimento di calore. Ad esempio, un dissipatore di calore metallico avrà una conduttività notevolmente più alta rispetto ad un composto per trasferimento di calore usato sull'interfaccia e quindi è importante che si usi solo un sottile strato di questo composto; in questo caso l'aumento di spessore incrementerà solo la resistenza termica. Pertanto, spessori interfacciali più bassi e

conduttività termiche più alte forniscono la maggior miglioria nel trasferimento di calore. In alcuni casi, comunque, l'utilizzo di un materiale con una conduttività termica in massa più alta potrebbe essere a detrimento della resistenza di contatto e quindi, non si otterrà alcun miglioramento. La tabella sotto fornisce alcune indicazioni sulle differenze fra materiali per la gestione termica ed evidenzia come la combinazione di proprietà sia più importante di un singolo valore da solo.

Materiale Termico d'Interfaccia	Conduttività Termica in Massa	Resistenza Termica	Spessore Materiale	Lavorabilità
Adesivi	BUONA	BUONA	ECCELLENTE	DISCRETA
Composti o Creme	BUONA	ECCELLENTE	ECCELLENTE	ECCELLENTE
Incapsulanti	BUONA	BUONA	BUONO	DISCRETA/SCARSA
Piazzole Termiche	ECCELLENTE	DISCRETA	SCARSO	ECCELLENTE
Cambio di Fase	ECCELLENTE	BUONA	DISCRETO	BUONA

Tabella 1 – Comparazione di vari materiali per la gestione termica

Un esempio di questa differenza può essere tratto dalla comparazione di composti termici o creme e piazzole termiche, come mostrato in tabella 1. Le piazzole termiche sono materiali polimerizzati solidi con spessore fisso, che sono disponibili in una varietà di conduttività termiche. Composti o creme termiche, come sopra discusso, sono non-polimerizzanti; come risultato, la loro viscosità può alterarsi leggermente con l'aumento della temperatura. Questo permette un'ulteriore riduzione nella resistenza d'interfaccia. Nel caso di piazzole termiche, servono alte pressioni per ottenere un'interfaccia adeguata; di conseguenza, una crema e una piazzola di conduttività termica simile, quando in massa, possono avere valori di resistenza termica molto differenti nell'uso relativo, e si osserverà tale differenza nell'efficienza di trasferimento del calore.

Un altro aspetto associato all'uso dei soli valori di conduttività termica in massa per la scelta di un prodotto, è la disponibilità di numerose tecniche differenti. Si possono avere variazioni importanti nei valori di conduttività termica per lo stesso prodotto utilizzando metodi o parametri di test differenti. Questo può dar luogo a valori di conduttività termica in massa che appaiono molto alti quando misurati, ma nell'uso hanno un'efficienza molto ridotta di dissipazione del calore. Alcune tecniche misurano solo la somma della resistenza termica dei materiali e della resistenza di contatto materiale/strumento. Electrolube usa una versione del metodo calore/flusso che misura separatamente entrambi questi valori, fornendo una misura di conduttività termica in massa assai più precisa. Indipendentemente da cosa è usato, è essenziale che i prodotti siano comparati utilizzando lo stesso metodo per ottenere valori di conduttività in massa; inoltre, in tutti i casi, i prodotti dovrebbero essere testati nell'applicazione finale per una reale riflessione dell'effettiva dissipazione di calore.

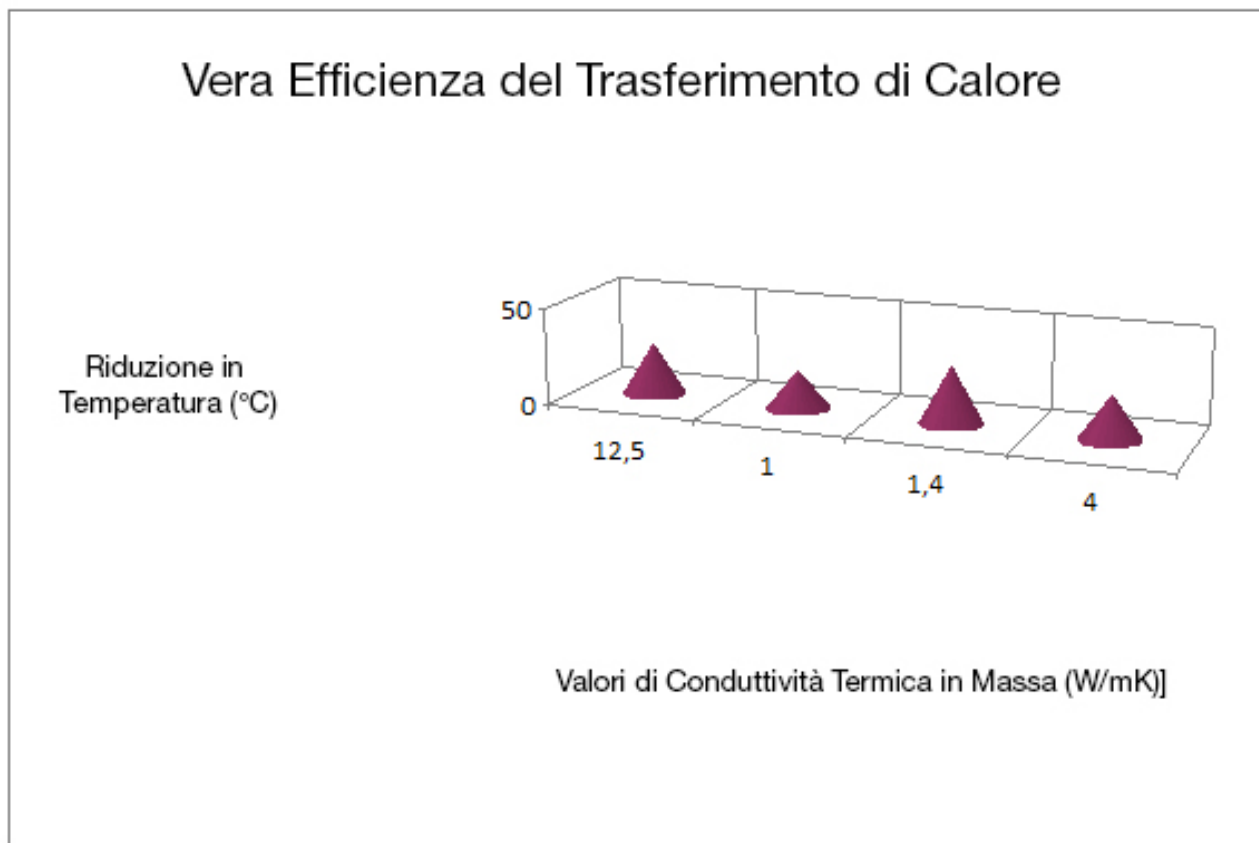
Questo ci porta ad un altro importante fattore nella scelta del prodotto: l'applicazione di materiali per la gestione termica. Sia si tratti di un composto per incapsulamento sia di un materiale d'interfaccia, qualsiasi gap nel mezzo conduttivo termico risulterà in una riduzione della dissipazione di calore. Per i materiali d'interfaccia, la viscosità di un prodotto o il minimo spessore possibile per l'applicazione avranno un grand'effetto sulla resistenza termica. Di conseguenza, un composto d'alta viscosità termicamente molto conduttivo che non possa essere spruzzato uniformemente sulla superficie, può avere una resistenza termica più alta ed un'efficienza di dissipazione del calore più bassa quando comparato con un prodotto di minore viscosità e con un valore di conduttività termica più bassa in massa. Per le resine d'incapsulamento, questo potrebbe essere espresso in un modo simile: più alta è la viscosità, più difficoltà ha la resina di fluire uniformemente attorno all'unità e quindi, si formano gap d'aria nel composto invasato che riducono il tasso di dissipazione del calore. E' essenziale che gli utenti si dedichino ai valori di conduttività

termica in massa, alla resistenza di contatto, agli spessori d'applicazione ed ai processi, al fine di ottenere con successo l'efficienza ottimale nel trasferimento di calore.

Un esempio pratico che evidenzia i requisiti per tali considerazioni è fornito in tabella 2 e nel grafico sotto. Esso mostra le differenze potenziali nella dissipazione di calore misurando la temperatura di un dispositivo che genera calore nelle condizioni d'uso. Questi risultati sono basati su un lavoro completato da un utilizzatore finale, dove tutti i prodotti erano materiali d'interfaccia termici, applicati usando lo stesso metodo, con lo stesso spessore.

#PRODOTTO	CONDUTTIVITA' TERMICA IN MASSA (W/m K)	TEMPERATURA DEL DISPOSITIVO (°C)	RIDUZIONE IN TEMPERATURA (°C)
Nr. Interfaccia	N/A	30	N/A
1	12.5	22	27%
2	1.0	24	20%
3	1.4	21	30%
4	4.0	23	23%

Tabella 2 – Comparazione dell'effettiva dissipazione di calore usando differenti materiali d'interfaccia termica



E' evidente che un valore di conduttività termica in massa più alto, in questo caso il valore 12.5 W/m K, non necessariamente dà luogo ad una dissipazione di calore più efficace quando comparata a prodotti con valori più bassi, come sopra il valore 1.4 W/m K. La ragione di ciò potrebbe essere dovuta al metodo di processo non ben adatto per il prodotto, non facile da applicare al prodotto oppure il prodotto potrebbe non essere stato progettato per questa particolare applicazione.

Qualsiasi sia la ragione, essa evidenzia l'importanza dell'applicazione di prodotto oltre alla scelta dello stesso.

Con avanzamenti così rapidi nell'industria elettronica, e più specificamente nelle applicazioni LED, è imperativo che la tecnologia dei materiali sia anche diretta a venire incontro ai requisiti sempre più spinti per la dissipazione di calore. Electrolube ha sviluppato tecnologie specifiche per migliorare la capacità di processare composti per la gestione termica, in modo semplice ed efficace. Questo ha dato come risultato composti di viscosità ridotta con conduttività termica in massa più alta; con le due proprietà combinate questi prodotti forniscono la massima efficienza nella dissipazione di calore minimizzando la resistenza termica. Ora, questa tecnologia è stata trasferita a composti per incapsulamento, fornendo prodotti con carichi di riempimento più alti e quindi conduttività termica migliorata combinata con un miglior flusso. Inoltre, Electrolube fabbrica anche una gamma di prodotti oltre ai materiali per la gestione termica. Tali prodotti includono conformal coating e resine per incapsulamento in formati otticamente chiari, per applicazioni dove è richiesta la protezione dell'intero LED, riconfermando ancora una volta l'importanza di sviluppare continuamente prodotti formulati chimicamente per venire incontro ai requisiti tempestivi ed esigenti di questa popolare tecnologia.

Jade Bridges
European Technical Support Specialist
Electrolube