

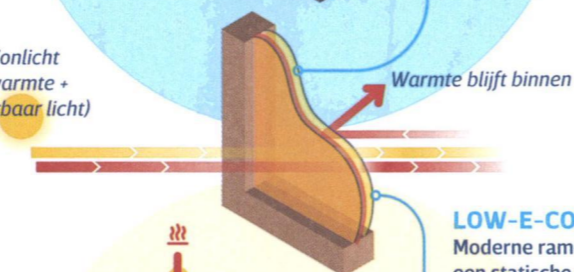
THERMOCHROME RAMEN

Thermochromisme is de eigenschap van stoffen om van kleur te veranderen als gevolg van een verandering in temperatuur. Een mogelijke toepassing van thermochromisme zijn schakelbare ramen. Beneden een bepaalde temperatuur laat de coating infraroodlicht, en dus warmte, door. Komt de temperatuur boven een ingestelde waarde, dan houdt deze het infraroodlicht tegen. Dit systeem is goedkoper dan de huidige elektrochrome systemen en het glas blijft transparant.



Zonlicht (warmte + zichtbaar licht)

Warmte blijft binnen



LOW-E-COATING

Moderne ramen hebben een statische coating die warmte binnen houdt, maar zich niet aanpast aan de omgevingstemperatuur.



ZOMER

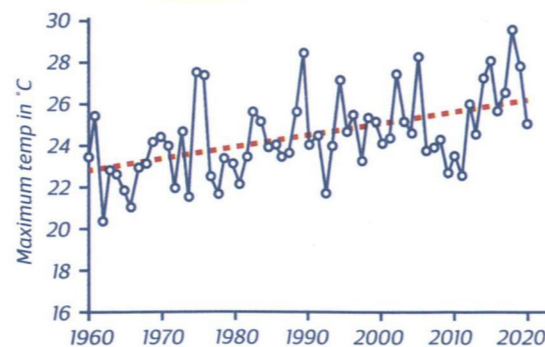
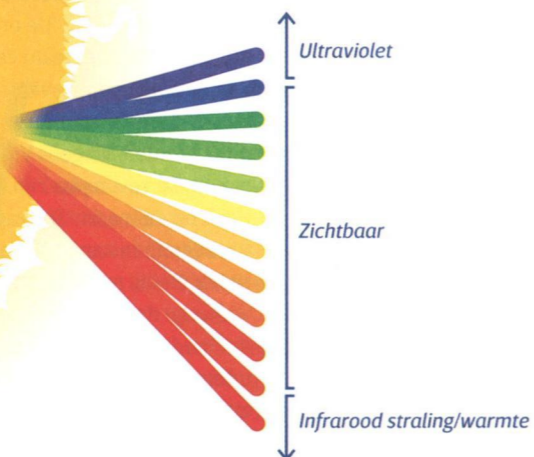


CO₂-EMISSIONS

De gebouwde omgeving is wereldwijd verantwoordelijk voor ongeveer een derde van het totale energieverbruik en CO₂-emissie. De helft van de energie is voor het verwarmen en koelen van gebouwen.

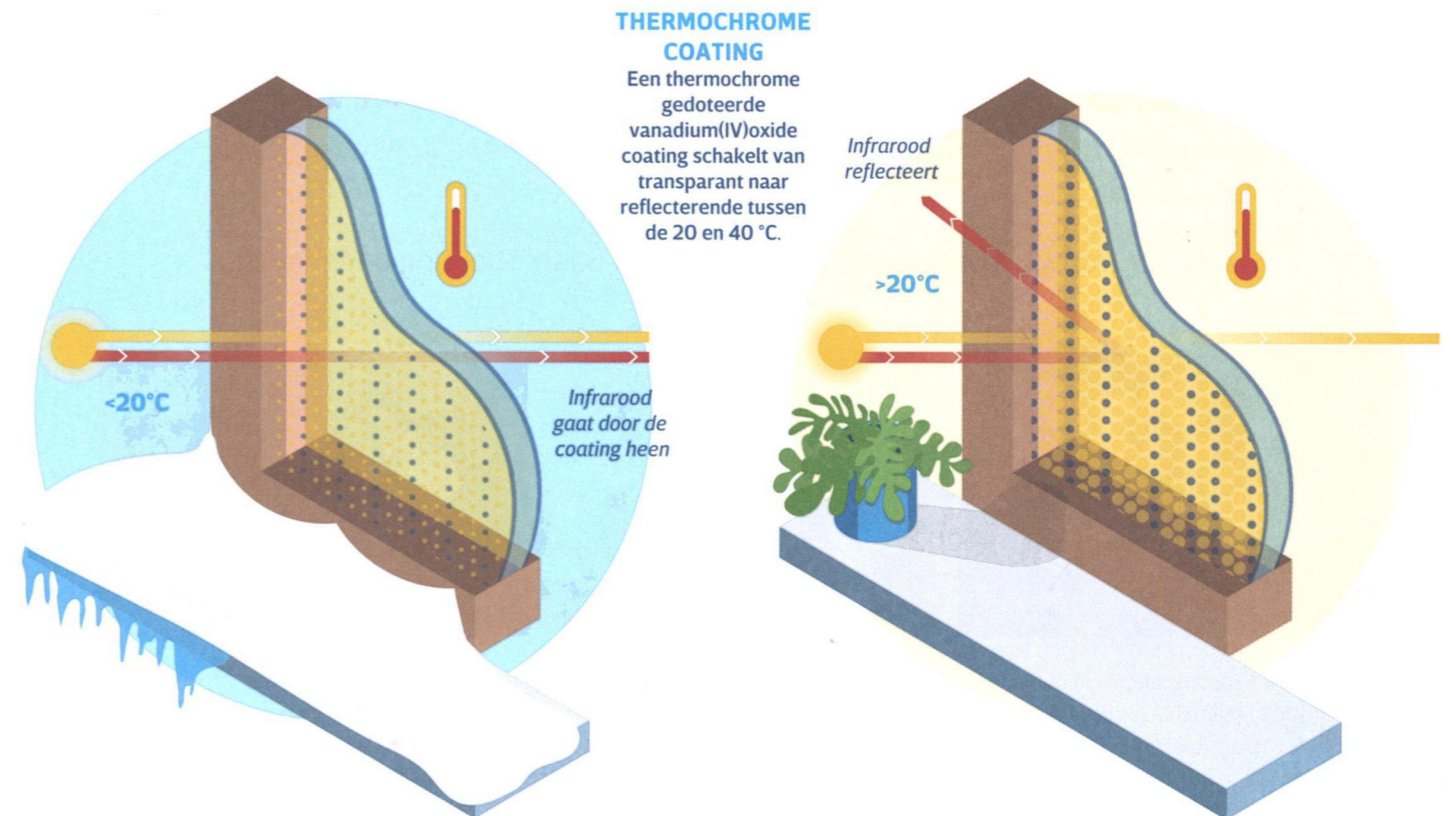
LICHTSPECTRUM

Van UV tot infrarood, zonlicht bestaat uit zowel zichtbaar als onzichtbaar licht. Aan de rode kant van het spectrum zorgt dit voor warmte.



EXTREMEN

Zomers krijgen we te maken met steeds extremere maximumtemperaturen, onze huidige isolatiestrategie, waarbij we warmte binnen houden, werkt dan tegen ons.



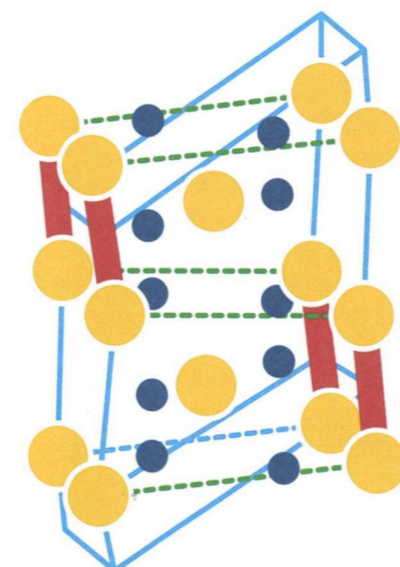
THERMOCHROME COATING

Een thermochrome gedoteerde vanadium(IV)oxide coating schakelt van transparant naar reflecterende tussen de 20 en 40 °C.

VANADIUM(IV)DIOXIDE

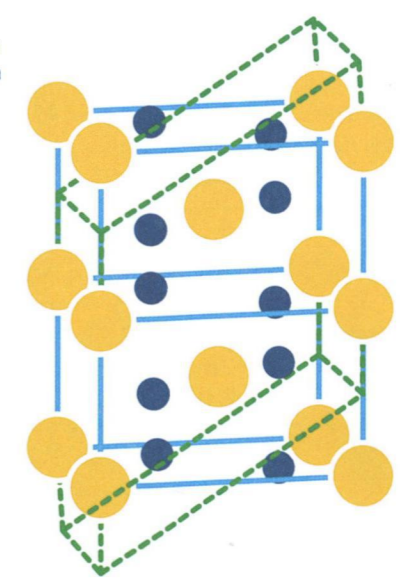
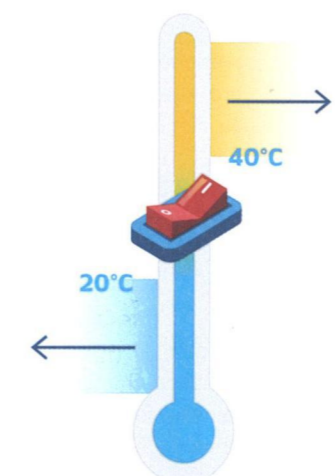
SCHAKELTEMPERatuur

Puur vanadium(IV)dioxide wisselt bij 68 graden Celsius van fase. Door te doteren kun je de schakeltemperatuur (T_c) instellen tussen 20 en 40 graden.



MONOKLIEN (HALFGELEIDER)

Bij lage temperaturen wordt het infrarode deel van het licht (warmte) doorgelaten.



RUTIEL STRUCTUUR METALLISCH

Bij hoge temperatuur wordt het infrarode deel van het zonlicht (warmte) gereflecteerd.



‘DE RAMEN VAN DE TOEKOMST ZIJN DYNAMISCH’

Ramen zijn in de vorige eeuw doorontwikkeld op hun isolerend vermogen, maar nu het aantal tropische dagen toeneemt ontstaat er behoefte aan ramen die ook geschikt zijn voor warm weer. Zeger Vroon werkt daarom aan een thermochrome coating die bij kamertemperatuur van fase verandert.



ZEGER VROON

‘Een vierkante centimeter maken is makkelijk, maar een vierkante meter is een uitdaging’

worden tot tussen de 20 en 40 graden, zegt Vroon. ‘Dat is de gewenste schakeltemperatuur in Nederland.’ Dopen, in dit geval met wolfram, is overigens niet de enige methode om de transitietemperatuur van vanadium(IV)dioxide te verlagen. Australische onderzoekers publiceerden in april 2023 een methode om die temperatuur van 68 °C terug te brengen naar 40 °C zonder doping. Zij gebruiken een schil van siliciumoxide om de vanadium(IV)oxide deeltjes. Het verschil in thermische uitzettingscoëfficiënt tussen het siliciumoxide en het vanadium(IV)oxide zorgt voor voldoende thermische rek om de transitietemperatuur te verlagen, schrijven ze in *Journal of Materials Chemistry A*.

TERUGVERDIENTIJD

Het mooie is natuurlijk dat de vanadiumdioxidecoating autonoom schakelt tussen de metallische en de halfgeleiderfase, afhankelijk van de omgevingstemperatuur. Het is daarmee in potentie een goedkope methode die te integreren is met bestaande ramen. ‘Waar in de wereld je bent maakt uit’, zegt Vroon. ‘Het verschil tussen winter en zomer is in West-Europa groot, dus een ideaal raam kan niet statisch blijven. Je moet bij schakelbare ramen wel opletten dat je alleen de warmtestraling uit het spectrum filtert. Het zichtbare licht moet er nog steeds doorheen kunnen, anders wordt je woning te donker’, aldus Vroon.

Klinkt als een ideale oplossing, maar het gaat nog een paar jaar duren voor we dit soort coatings kunnen kopen. Vanadium(IV)dioxide met de juiste schakeltemperatuur en kleuring is niet eenvoudig te maken. ‘Het is een d-element met meerdere fasen en valentietoestanden en er is er maar één met de juiste eigenschappen’, zegt Vroon. ‘Een vierkante centimeter maken is makkelijk, maar een vierkante meter homogeen materiaal is een uitdaging.’ De ontwikkeling startte in 2016 en inmiddels kan het team een vlak van 1 m² maken. Deze zomer is de opening van een pilotfabriek op de Brightlands Chemelot Campus om het productieproces verder op te schalen. Volgens Vroon moet de terugverdientijd maximaal zeven jaar zijn, voordat dit product een plaats heeft op de markt. ‘Dat zagen we bij zonnepanelen ook, die begonnen aan te slaan bij dat soort terugverdientijden. Het is nu lastig om precieze uitspraken te doen vanwege de schommelende energieprijzen.’ Hij verwacht dat producten zoals de vanadium(IV)oxide coating uiteindelijk standaard worden in woningen. ‘Ramen zijn een grote verliespost, maar ze zijn een belangrijk onderdeel van een huis en je moet zorgen dat het een product wordt dat de energiedoelen haalt. Met deze coating kunnen we dat bereiken.’ ●

Wie woont in een huis dat na 2000 is gebouwd zal dit ongetwijfeld herkennen. ‘s Winters zijn deze huizen heerlijk behaaglijk. De enorme ramen met HR++-glas laten zonlicht binnen en voorkomen dat er warmte naar buiten lekt. Maar in de zomer breekt het zweet je uit.

Ramen zijn in de vorige eeuw doorontwikkeld om de warmte binnen te houden. Dat begon rond 1975, toen we als gevolg van de oliecrisis van enkel naar dubbel glas gingen, en zette door tot het begin van deze eeuw. Dubbele ramen werden gevuld met inert gas, bijvoorbeeld argon, soms werden het triple ramen en uitein-

delijk kwam er een zogenaamde low-e-coating op de binnenzijde van het glas. Een low-e-coating bevat een dun laagje zilver dat warmte reflecteert en zo binnenhoudt. Dat werkt fantastisch in de winter, maar helaas houdt het de warmte ook binnen in de zomer. Om dat te compenseren schaffen de bewoners een airco aan en die verbruikt weer veel energie. Nu het aantal tropische dagen toeneemt ontstaat er in West-Europa daarom behoefte aan ramen die ook geschikt zijn voor warm weer.

TWEE FASETOESTANDEN

‘De ramen van de toekomst zijn dynamisch’, zegt Zeger Vroon, lector Duurzame Energie aan Zuyd Hogeschool en onderzoeker bij TNO. Bij die laatste onderzoekt hij

hoe je zonnepanelen, ramen en batterijen kunt verduurzamen met coatings en bij Zuyd Hogeschool werkt hij aan validatie en demonstratie van dat type producten. Vroon en collega’s willen een thermochroom raam ontwikkelen, oftewel een raam met twee fasetoestanden. In de winter houdt het raam de warmte binnen, terwijl het in de zomer infrarood licht juist reflecteert. Dat kan dankzij een coating van vanadium(IV)dioxide (VO₂), een thermochroom materiaal. Deze bijzondere stof is bij hoge temperaturen metallisch en reflecteert infraroodlicht, terwijl het bij lagere temperaturen een halfgeleider wordt en juist warmtestraling doorlaat. Puur vanadium(IV)dioxide maakt deze switch bij 68 °C. ‘De schakeltemperatuur kan met doteringen verlaagd