



SLUTRAPPORT

Från blyavfall till framtidens solcell

Dyename AB

**RE:
SOURCE**

Slutrapport för projekt: Från blyavfall till framtidens solcell

Engelsk titel: From lead waste to solar cell

Projektperiod: 1 september 2023 – 29 februari 2024

Datum: 2024-03-18

Projektnummer: P2023-00064

Diarienummer: 2023-200325

Projektledare: Henrik Pettersson

Organisation: Dyenamo AB

Adress: Teknikringen 38A, 114 28 Stockholm

Ev. övriga projektdeltagare: Dyenamo-personal

Nyckelord: 5–7 st: bly, batteri, avfall, solcell, perovskit, cirkulär

RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram och finansieras av

VINNOVA

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Förord

Projektet exemplifierar möjligheten att genom innovation kombinera cirkulär användning av återvunnet farligt avfall med affärer inom grön energi. Vi har utvärderat förutsättningarna att använda miljöfarligt avfall för produktion av grön el genom återanvändning av blyavfall för tillverkning av en central komponent till så kallade perovskitsolceller

Projektet har genomförts av DYNAMO AB med delfinansiering från Energimyndigheten genom utlysningen "RESource 2023: Cirkulär ekonomi och resursanvändning inom planetens gränser".

Innehåll

1. Sammanfattning	4
2. Summary	4
3. Inledning och bakgrund.....	5
4. Genomförande	6
5. Resultat	6
6. Slutsatser.....	8

1. Sammanfattning

I det genomföra projektet har vi visat att uttjänta blybatterier kan användas för tillverkning av högkvalitativ blyjodid; en central komponent i perovskitsolceller. Vi har vidare konstaterat att efterfrågan på blybatterier förväntas vara fortsatt stor, och till och med växa, de närmaste 10 åren. Detta gör att tillgång på överblivna blybatterier för omvandling till solcellsmaterial förutsätter; i) politiska regleringar som fasar ut blybatterier, ii) att andra batteritekniker konkurrerar ut blybatteriet och/eller iii) värdet för återvunnet bly är mycket högre för tillverkning av blyjodid för solceller än för tillverkning nya blybatterier.

Projektet har genomförts av Dyenamo AB med delfinansiering från Energimyndigheten under perioden september 2023 till februari 2024.

2. Summary

We have shown that used lead acid batteries can be used for production of high-quality lead iodide; a key component for perovskite solar cells. Moreover, we have concluded that the demand for lead-acid batteries is expected to remain large, or even increase, during the next 10 years. Consequently, at least one of the following scenarios needs to take place to increase the access of used lead-acid batteries for conversion to solar cell material; i) political regulations restricting use of lead-acid batteries, ii) other technologies replacing lead-acid batteries, and/or iii) the value of recycled lead is significantly higher for manufacturing of lead-iodide than for lead-acid batteries.

The project has been performed by Dyenamo AB and co-financed by the Swedish Energy Agency (Energimyndigheten) during the period September 2023 to February 2024.

3. Inledning och bakgrund

Perovskitsolceller pekas allt oftare ut som framtidens solcellsteknologi och investeringarna i produktutvecklande företag är massiva i såväl Europa, USA som Asien. Det oberoende marknadsundersökande företaget Markets and Markets förutser i rapporten ”PEROVSKITE SOLAR CELL MARKET – GLOBAL FORECAST TO 2028 ” att värdet på perovskitsolcellsmarknaden kommer att överstiga 2000 MUSD år 2028. Man kan dela in produktutvecklande perovskitföretag i två kategorier; i) de som utvecklar så kallade tandemsolceller, dvs en perovskitsolcell placeras ovanpå en kiselcell för att skapa högre verkningsgrad, ii) de som siktar på perovskitsolceller som fristående solcell. I varje kategori finns en flora av olika cellkoncept, modulkoncept och materialval. En intressant aspekt med denna initierade perovskitindustrialisering är att den adresserar såväl förbättring av nuvarande kiselcellsteknik som utmaning av densamma. Ett återkommande argument mot industrialisering av perovskitsolceller har varit att bäst verkningsgrad alltid uppnås då det ljusabsorberande lagret inkluderar blyjodid. Ända sedan tekniken introducerades år 2014 har förväntningarna varit att blyjodiden skall kunna ersättas av icke toxiska material. Detta har emellertid visat sig vara svårt. Det finns i dagsläget ingen perovskitsolcell utan blyjodid som uppvisat verkningsgrader överstigande 15 %, att jämföra med 26 % för fristående perovskitcell med bly och knappt 34 % för tandemcell kisel/perovskit. Samtidigt har påvisats att blyjodiden effektivt kan kapslas in och förhindra exponering vid brand eller annan skada, dvs blyjodiden stannar i solcellen fram till återvinning. Vidare pågår en rad stora projekt rörande återvinning av perovskitmodulerna. De senaste årens utveckling har även påvisat betydelsen av blyjodidens kvalitet vilken dramatiskt påverkar solcellens verkningsgrad. Det behövs således högkvalitativ blyjodid för att tillverka konkurrenskraftiga perovskitsolcellsmoduler. I detta projekt har vi utvärderat huruvida uttjänta blybatterier kan vara en framtida resurs för tillverkning av blyjodid.

Det pågår för närvarande en solcellsrevolution med exponentiellt ökat användande globalt. Marknaden domineras av kiselceller från Kina. De senaste årens påvisandet av sårbarheten i det globala samhället har lett till politiska beslut inom USA att bryta den kinesiska solcellsdominansen och återskapa inhemsk produktion. Perovskitsteknologin lyfts i detta sammanhang fram som en central framtidsteknik och en möjlighet för EU och USA att återta frontpositionen för solceller. Produktion av perovskitsolceller kräver emellertid en solid leverantörskedja av material, utrustning, kompetens osv. Dyanamos har sedan 2011 utvecklat, tillverkat och sålt kemikalier för kemibaserade solceller, initialt för så kallade Grätzel-solceller och sedan 2014 för perovskitsolceller. Företaget är idag betraktat som ett av de ledande materialföretagen för perovskitsolceller.

4. Genomförande

Projektet har genomförts av Dyenamo AB med Henrik Pettersson som projektledare. Projektteamet har bestått av Dyenamo-personal, primärt Martin Karlsson, Sonja Prideaux, Jiajia Suo och Lars Kloo.

Projektet delades upp i fyra arbetspaket vilka reflekterar projektets mål;

Arbetspaket 1. Kartläggning av förutsättningar

Arbetspaket 2. Syntesutveckling

Arbetspaket 3. Patentutvärdering och regelverk

Arbetspaket 4: Projektledning och rapportering

Sonja Prideaux har kartlagt förutsättningar och regelverk (Arbetspaket 1 och 3). Martin Karlsson och Jiajia Suo har genomfört det tekniska utvecklingsarbetet (Arbetspaket 2). Henrik Pettersson har ansvarat för patentutvärdering (Arbetspaket 4). Lars Kloo är Professor inom oorganisk kemi med deltidsanställning på Dyenamo parallellt med sin anställning på KTH. Hans spetskunskap och nationella nätverk inom oorganisk kemi har varit en central beståndsdel i projektet.

5. Resultat

Projektets resultat redovisas nedan för arbetspaket 1-3.

Arbetspaket 1. Kartläggning av förutsättningar

Vår kartläggning av nuvarande situation för blybatterier och dess återanvändning har visat att:

- bly är en av de mest återvunna metallerna och omkring 99 procent av blybatterier i Europa återvinns. Blyet i batterier är helt återvinningsbart och huvuddelen av det återvunna blyet säljs tillbaka till batteriindustrin som använder det för att göra nya batterier. <https://www.boliden.com/sv/hallbarhet/sa-jobbar-vi/har-blir-forbrukade-blybatterier-ny-ravara>
- blyet i ett uttjänt blybatteri har ett värde på 4-8 kr/kg
- bly bryts i fem svenska gruvor och Sverige står för ungefär 32 procent av produktionen i Europa <https://www.densvenskagruvan.se/metall-mineraler/>. Bly är en biprodukt från brytning av exempelvis zink.
- politiska drivkrafter verkar driva på blyåtervinning istället för brytning <https://www.aktiekunskap.nu/ravaror/bly/>

- globalt är de största länderna i blyproduktion Kina (ca 50 %), Indien och Kazastan, <https://www.aktiekunskap.nu/ravaror/bly/>
- bly utgör ungefär 60 % av vikten hos ett blybatteri (Linden, David; Reddy, Thomas B., eds. (2002). Handbook Of Batteries (3rd ed.). New York: McGraw-Hill. p. 23.5. ISBN 978-0-07-135978-8.). Ett blybatteri på Ah väger typiskt 22 kg, dvs motsvarande ett blyinnehåll på 13 kg.
- Bolidens blysmältverk Bergsöe är en av Europas största, och Nordens enda, återvinnare av förbrukade blybatterier. Här återvinns bly från fyra miljoner uttjänta blybilbatterier varje år. Minst 70 procent av det bly som produceras här säljs sedan till batteriindustrin i Europa, och används på nytt. <https://www.boliden.com/sv/nyheter/blyatervinning/>
- 12 V blybatterier används i elektriska bilar för att driva funktioner som strålkastare, klimatanläggning och infotainment.
- framtidens marknad för blybatterier drivs av en ökad efterfrågan av nya bilar, med Mellanöstern och Afrika som största marknader, samt den pågående övergången till elbilar. Olika prognoser räknar med runt 5% ökning av marknaden fram till 2032. Det som förutspås begränsa/minska efterfrågan på blybatterier är utvecklingen av alternativa batteritekniker, då framförallt litiumjonbatterier, samt politiska regleringar pga blyets giftighet (<https://www.skyquestt.com/report/lead-market>) (<https://www.holmasjon.se/irpress/7785-meter-av-totalt-419-meter-borrkrna-skickas-fr-analys-bzmhn-mtxlb-awx7z>).

Arbetspaket 2. Syntesutveckling

Vi har tagit ett blybatteri, monterat isär det, tagit ut blydelarna och utvecklat syntesmetodik för att omvandla detta till blyjodid. Denna blyjodid har använts för att tillverka perovskitsolceller. Solcellernas verkningsgrad var lika hög som vid användning av den mycket rena blyjodid som utgör referensmaterial inom forskning på perovskitsolceller. Detta är ett anmärkningsvärt resultat.

Återvinningen från blybatterier ger väsentligen 100% utbyte av Pb. Detta innebär att från ett blybatteri på 72 Ah innehållande skulle åtminstone 15 kg blyjodid kunna tillverkas. Detta motsvarar ungefär blyjodidbehovet för en solcellsproduktion av >1 MW_{peak} (dvs den topp effekt solcellerna ger vid solbelysning på ca 1000 W/m²) perovskitsolceller. Vid en verkningsgrad på 25 % motsvarar detta >4000 m² perovskitsolceller.

Arbetspaket 3. Patentutvärdering och regelverk

Vi har genomfört en patentutvärdering för det undersökta teknikområdet. Vår bedömning är att den utvecklade lösningen är svår att skydda.

EUs batteridirektiv från 2006 med tillägg så sent som 2023 förbjuder, med vissa undantag, batterier som innehåller kadmium och kvicksilver. Vi har inte funnit något dokument som tyder på att bly är på gång att inkluderas bland de förbjudna materialen. För blybatterier gäller i

stället ett producentansvar, dvs att den som sätter batterierna på marknaden också har ett ansvar för att ta hand om dem när de blivit avfall.

6. Slutsatser

Vi har tekniskt visat att uttjänta blybatterier kan omvandlas till blyjodid för perovskitsolceller. Ett blybatteri räcker till blybehovet för produktion av >1 MW_{peak} (dvs den topp effekt solcellerna ger vid solbelysning på ca 1000 W/m²) perovskitsolceller. Vid en verkningsgrad på 25 % motsvarar detta >4000 m² perovskitsolceller.

Ur ett tillgångsperspektiv konstaterar vi att efterfrågan på begagnade blybatterier är mycket stor då marknaden är fortsatt växande. Ur ett regelperspektiv är vår tolkning att blybatterier fortfarande accepteras trots att de har giftigt innehåll. Genom lagar och direktiv begränsas risker med användandet snarare än att stimulera minskat användandet. Då batteriutvecklingen för närvarande är intensiv kan det komma en teknik som kan utmana blybatteriet. I ett sådant läge skulle användandet av blybatterier snabbt reduceras.

Vår slutsats är att användning av uttjänta blybatterier för produktion av perovskitsolceller kan bryta igenom kommersiellt om/när; i) värdet på återvunnet bly är mycket högre för tillverkning av blyjodid för solceller än för nya blybatterier, ii) marknaden för blybatterier minskar vilket skapar ett överskott av uttjänta batterier.



RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram som fokuserar på att utveckla cirkulära, resurseffektiva materialflöden. Vårt mål är att uppnå en hållbar materialanvändning där vi håller oss inom planetens gränser.

**RE:
SOURCE**

resource-sip.se