



(11) FREMLÆGGELSESSKRIFT 141768

DANMARK

(51) Int. Cl.³ H 01 M 6/04



(21) Ansøgning nr. 3379/76 (22) Indleveret den 27. jul. 1976

(23) Løbedag 27. jul. 1976

(44) Ansøgningen fremlagt og
fremlæggelsesskriftet offentliggjort den 9. jun. 1980

DIREKTORATET FOR
PATENT- OG VAREMÆRKEVÆSENET

(30) Prioritet begæret fra den
29. dec. 1975, 645199, US

(71) THE CONTINENTAL GROUP INC., 633 Third Avenue, New York, New York
10017, US.

(72) Opfinder: Ernest Lucius Littauer, 23705 Deer Springs Way, Los Altos
Hills, Californien 94022, US: Roger Paul Hollandsworth, 2025 Califor-
nia Avenue, Mountain View, Californien 94040, US: Keh Chi Tsai, 19358
Pinnacle Court, Saratoga, Californien 95070, US.

(74) Fuldmægtig under sagens behandling:
Firmaet Chas. Hude.

(54) Elektrokemisk celle med en med vand højreaktiv metalanode.

Opfindelsen angår forbedringer af den i U.S.A. patentskrift nr. 3.791,871 beskrevne elektrokemiske celle.

- Den grundliggende mekanisme for drift af den i ovennævnte patentskrift beskrevne celle er i korthed baseret på, at cellen
- 5 udnytter en reaktiv metalanode, som er højreaktiv med vand, og som er adskilt fra en katode af en elektrisk isolerende film, der dannes på anoden ved tilstedeværelse af vand. Anoden og katoden er nedsænkede i en vandholdig elektrolyt. Ved den i det ovennævnte patentskrift beskrevne udførelses-
- 10 form består anoden af et alkalimetal, f.eks. natrium eller lithium og under cellens drift er elektrolyten en flydende opløsning i vand af et alkalimetalhydroxid. Legeringer og forbindelser af alkalimetallerne og reaktive metaller er lige anvendelige til brug som anode under forudsætning af, at de i
- 15 hovedsagen er lige så reaktive med vand som natrium og lithium er og endvidere under forudsætning af, at de lige som natrium og lithium danner en isolerende film ved tilstedeværelse af vand. Elektrolyten er fortrinsvis et alkalimetalhydroxid af det som anode anvendte alkalimetal, eftersom den
- 20 en hydroxid dannes naturligt under cellens drift og således automatisk regenererer elektrolyten under driften. Imidlertid kan andre alkaliske elektrolyter anvendes ved cellens første start eller til og med under driften af cellen, forudsat at de muliggør de nødvendige anode-katode-reaktioner.
- 25 Eksempelvis kan kalium- og ammoniumhydroxid samt alkalimetal-sulfater, -halogenider og lignende anvendes. Efter opstarten erstattes disse elektrolyter ved hydroxider af anodemetallet, hvis disse elektrolyter ikke tilsættes yderligere under cellens drift.
- 30 Driften af den i ovennævnte U.S.A. patentskrift beskrevne celle omfatter følgende reaktioner, hvor der som illustration er anvendt lithium som reaktiv anode og lithiumhydroxid som elektrolyt:

Anodereaktion

1. $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ (\text{aq}) + \text{e}$ elektrokemisk opløsning
2. $\text{Li}^+ (\text{aq}) + \text{OH}^- (\text{aq}) \rightarrow \text{LiOH} (\text{aq})$
3. $\text{LiOH} (\text{aq}) \rightarrow \text{LiOH} (\text{s})$ dannelse af isolerende film på anoden.
- 5 4. $\text{Li} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiOH} (\text{aq}) + 1/2 \text{H}_2$ direkte korrosion/parasitisk reaktion

Katodereaktion

5. $\text{H}_2\text{O} + \text{e} \rightarrow \text{OH}^- + 1/2 \text{H}_2$ reduktion af vand

hvor (aq) betegner vand og (s) betegner et fast salt.

- Reaktion (1) er nødvendig for frembringelse af elektricitet.
- 10 Ligeledes er en elektronforbrugende reaktion som reaktionen (5) nødvendig, som ideelt ikke resulterer i gasudvikling. Reaktionen (2) og (3) tjener til at frembringe den porøse isolerende film, der dannes på anoden og beskytter denne. Den elektrokemiske reaktion (1) foregår ved bunden af de gennem-
- 15 vædede porer, dvs. ved metal/opløsning-grænsefladen. Samtidig med dannelse af filmen opløses lithiumhydroxidpositioner ved film/opløsning-grænsefladen i hele elektrolyten. For at den elektrokemiske reaktion skal kunne skride fremad med en given konstant hastighed, må der eksistere en ligevægts-
- 20 tilstand, hvor den elektrokemiske producerede film opløses i elektrolyten med samme hastighed som den dannes. Derfor må elektrolyten have en evne til at opløse faste salte fra den anodiske film/elektrolyt-grænseflade samtidig med dannelsen af saltet ved lithium/film-grænsefladen. Hvis filmen oplø-
- 25 ses langsommere end den dannes, udviser den voksende tykkelse og mindre porøsitet, og dens elektrokemiske reaktionshastighed formindskes og kan nå hastigheden 0. Hvis filmen opløses hurtigere end den dannes, vil resultatet blive en højere reaktionshastighed på grund af den tyndere og mere porøse
- 30 film. Endelig kan filmen forsvinde og lithiummetallet blive instabilt.

Reaktionen (3) kræver en tilstrækkelig stor koncentration af lithiumhydroxid ved eller i nærheden af anoden for at forårsage udfældning af filmen som fast lithiumhydroxid på lithiumoverfladen. Reaktionen (4) frembringer ikke nogen anvendelig elektrisk strøm. I dansk patentansøgning nr. 1497/76 beskrives anvendelsen af visse organiske tilsætninger, der forhindrer den direkte korrosionsreaktion (4).

Reaktionen (5) anvender faktisk elektrisk energi og har ulempen, at hydrogengasudvikling forekommer ledsaget af relativt lave spændingsegenskaber. Problemet bliver således at indføre en alternativ reaktion, der producerer det nødvendige udbytte af elektroner uden udvikling af hydrogengas, og som øger effektiviteten og spændingen for cellen.

Ifølge nærværende opfindelse har det således vist sig, at anvendelse af visse opløselige organiske ioner i den alkaliske elektrolyt i en elektrokemisk celle med reaktivt metal og vand giver en reaktion, der ved hovedsagelig reduktion eller eliminering af hydrogengasudviklingen ved katoden resulterer i, at katodereaktionen foregår ved mere elektronegative potentialer, hvorved det totalt cellepotential forøges.

Cellen ifølge opfindelsen er ejendommelig ved, at der i den vandholdige alkaliske elektrolyt indgår i det mindste en i elektrolyten opløselig uorganisk ion, udvalgt blandt nitrit-, hypochlorit-, chlorat-, bromat-, dinitrogentrioxid, sulfitioner, der ved katoden reduceres under undertrykkelse af vands reduktion.

Der findes mange opløselige salte af nitriter, sulfiter og lignende angivet i tekniske opslagsbøger som eksempelvis Handbook of Chemistry and Physics, udgivet af Chemical Rubber Company. Naturligvis må disse forbindelser og gasser være let dissocierbare i elektrolyten for frembringelse af de ønskede ioner og må kun udvise en mindre hæmmende indvirkning på de krævede anode/katode-reaktioner og må endvidere

tillade en acceptabel reaktionshastighed for at undgå polarisation. De bør desuden ikke formindske ledningsevnen af elektrolyten, udvise anselig opløselighed i elektrolyten og bør endvidere uden nødvendigvis at være inaktive overfor den reaktive anode reagere hermed med en lavere hastighed en vandgør. Desuden bør ionerne være stabile under cellens driftsbetingelser. Vurdering af de forskellige organiske forbindelser, som giver disse ioner for at fastslå, om de udviser de ovennævnte krævede egenskaber, kan let udføres af en fagmand.

10 Opfindelsen skal nærmere forklares i det følgende under henvisning til tegningen, hvor

fig. 1 viser med koordinaterne overspænding i volt og logaritmen til strømtætheden i ampere pr. cm^2 en kurve, der viser katodepolarisationen som funktion af nitritkoncentrationen i en kaliumhydroxidelektrolyt,

fig. 2 med koordinaterne energiintensitet i wattimer pr. kg lithium, strømodbytte i procent og cellepotentiale i volt langs ordianten og strømtætheden i milliampere pr. cm^2 på abscisseaksen vises en kurve over de opnåede egenskaber med lithium i 3 M kaliumhydroxidelektrolyt,

fig. 3 med koordinaterne energiintensitet i wattimer pr. kg. lithium, strømodbytte i procent og cellepotentiale i volt langs ordinaten og strømtætheden i milliampere pr. cm^2 langs abscissen vises en kurve over de opnåede resultater med lithium i 3 M kaliumhydroxidelektrolyt indeholdende 2 mol natriumnitrit, og

fig. 4 med koordinaterne cellepotentialet i volt og korrosionsstrømtætheden i milliampere pr. cm^2 vises en kurve over den direkte korrosion/parasitiske reaktion for lithium med forskellige elektrolyter som en funktion af cellepotentialet.

Anvendelsen af de opløselige organiske ioner ifølge opfindel-

sen i den alkaliske elektrolyt i en elektrokemisk celle med reaktivt metal og vand resulterer i, at de nødvendige anode-reaktioner (1), (2) og (3) som nævnt ovenfor opnås. Imidlertid reduceres ionerne elektrokemisk ved katoden, så at hydrogengasudvikling (reaktionen 5) i det væsentlige reduceres eller elimineres. Nitritionen ifølge opfindelsen undertrykker endvidere den direkte korrosionsreaktion (4). Tilsætning af visse organiske tilsætninger beskrives i dansk patentansøgning nr.1497/76 og disse undertrykker yderligere reaktionen (4).

I visse elektrokemiske reaktorer, f.eks. hydrogenelektrolysesystemer er hydrogengasudviklingen den normale katodereaktion og det udviklede hydrogen opbevares og anvendes til forskellige formål. Forsøg på at forbedre effektiviteten for elektrolyseanordningen har almindeligvis være rette mod anvendelse af katodereaktanter, der medgiver, at elektrodereaktioner finder sted med reduceret polarisation. Eksempelvis beskriver E. C. Potter i "Electrochemistry - Principles and Applications" Cleaver Hume Press Ltd. side 135, hvordan tilsætningen af permanganater, chromater og nitrater formindsker over-spændingen i elektrolytiske hydrogengeneratorer. Ved de af Potter beskrevne eksperimenter var hydrogengasudviklingen imidlertid stadig katodereaktionen. I U.S.A. patenskrift nr. 2.538.078 beskrives ligeledes anvendelse af kromationer som katodereaktant i et batteri, hvor anoden er af zink. Elektrolyten indeholder lithiumkromat og katoden er af carbon. Herved reduceres chromationen fra den hexavalente tilstand Cr^{+6} til den trivalente tilstand Cr^{+3} .

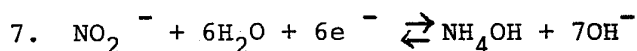
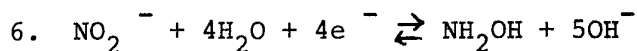
Det kendes, at anvende aktive katoder i konventionelle batterier, der faktisk tager del i den totale elektrokemiske reaktion. Her udgøres katodereaktionen ikke af hydrogengasudvikling, men reduktion af katoden. Imidlertid tåler sådanne katoder sædvanligvis ikke en langvarig afladning. En sølvchloridelektrode har f.eks. en kapacitet på blot ca. 15 minutter ved 400 mA/cm^2 . Derfor udnyttes batterier af

af denne type ikke almindeligvis.

I batterier med reaktivt metal og vand er hydrogengasudviklingen i modsætning til konventionelle batterier et problem, eftersom at denne i fri luft eksplosivt kan forenes med oxygen. I vandige omgivelser under vand er udviklingen af hydrogengas synlig (på grund af bobler) og udelukker således anvendelse af batteriet i sådanne miljøer, hvor opdagelse er uønsket. Dette problem afvikles ifølge foreliggende opfindelse ved anvendelse af opløseligt nitrit, hypochlorit, chlorat, bromat, dinitrogentrioxid samt sulfitioner i den alkaliske elektrolyt. Disse ioner er relativt mere elektronegative end reduktion af vand (se W. M. Latimer, "Oxidation Potentials", Printice Hall, Inc. New York, 1952) og opfylder de øvrige krav, som er nødvendige ved anvendelse af en reaktiv metalanode og en vandholdig alkalisk elektrolyt. Selv om jodationen er mere elektronegativ end nitritionen er den ingenlunde lige så anvendelig, eftersom den ikke udviser en lav direkte reaktion med reaktive metalanoder.

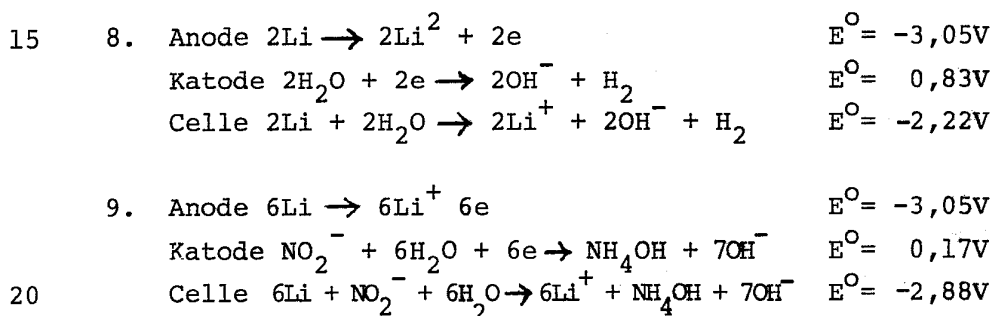
Som tidligere nævnt kan sulfitionen ifølge opfindelsen dannes ved sønderdeling af svovldioxid i den alkaliske elektrolyt. U.S.A. patentskrift nr. 2.014.532 beskriver anvendelse af svovldioxid i en elektrolyt, men derimod ikke dannelse af sulfitioner for undertrykkelse af hydrogengasudvikling. Batteriet omfatter en lithiumanode, en ikke-vandholdig elektrolyt bestående af lithiumperchlorat og propylencarbonat samt svovldioxid opløst i elektrolyten, som reduceres ved den inaktive carbonkatode. Eftersom elektrolyten ikke indeholder vand, omfatter katodereaktionen ikke reduktion af vand til hydrogengas, og således udnyttes svovldioxid ikke til frembringelse af en ion, der reduceres frem for vand ved katoden.

Som eksempel på katodereaktionerne omfattende ionerne ifølge opfindelsen i en lithiumhydroxidelektrolyt undergår nitrit følgende reaktioner ved en inaktiv nikkelelektrode frem for reduktion af vand:

Katodereaktion

Reaktionen (7) er overvejende ved katoden. Den relativt høje ladningsoverføring, 4 eller 6 elektroner flyttes, tyder på en ekstrem høj energiintensitet for denne ion og endvidere på, at ionen i lighed med andre ioner ifølge opfindelsen ikke producerer hydrogen ved reaktionen (5) som tidligere nævnt.

Forbedringen i spændingsforøgelsen ved udnyttelse af ionerne ifølge opfindelsen i den alkaliske elektrolyt for en celle med reaktivt metal og vand illustreres ved følgende reaktioner, hvor reaktionen (8) illustrerer den typiske anode/katode-reaktion for cellen og reaktionen (9) illustrerer fordelene, som opnås ved anvendelse af ionerne ifølge opfindelsen.



Den yderligere spænding beløber sig til 0,66 Volt og det yderligere energipotential, som er tilgængelig ved ionerne ifølge opfindelsen, fremgår således let ved en sammenligning af reaktionerne (8) og (9). Eliminering af hydrogengas, som reaktionsprodukt er også en signifikant fordel ud fra sikkerhedssynspunkter med hensyn til gasreparationsproblemer fra elektrolyten og i enkeltceller- eller flercellebatterier.

Dansk patentansøgning nr. 2276/76 beskriver anvendelse af

opløselige peroxidioner i en alkalisk elektrolyt for en celle med reaktivt metal og vand som anodemoderator og en kato- dereaktant, der undertrykker hydrogengasudviklingen. Denne anvendelse af peroxidioner foregriber imidlertid ikke nær-
5 værende opfindelse, da hydrogenperoxid sønderdeles udelukken- de til vandkomponenter, og således ikke forandrer kemien i elektrolyten. Materialerne ifølge den foreliggende opfindel- se forandrer elektrolytens natur.

Baggrundsdata ved anvendelse af hydrogenperoxid som katode-
10 reaktant i alkaliske opløsninger i tidligere anvendte elek- trokemiske brændselsceller med ikke-forbrugende anoder gi- ves i "Electrochemical Processes in Fuel Cells", Manfred Breiter, Springer Verlag, New York, New York (1969). Imid- lertid ligger denne anvendelse af hydrogenperoxid i endnu
15 større afstand fra nærværende opfindelse, eftersom indenfor brændselscelleteknikken bringes hydrogenperoxid til reaktion med et væskeformigt eller gasformigt brændsel. Således re- duceres hydrogenperoxid ved en inaktiv katalytisk katodeover- flade, f.eks. sølv eller platin og modreaktionen er oxidation
20 af eksempelvis methanol eller hydrasin ved en inaktiv kataly- tisk anodeoverflade, f.eks. platinsort eller carbon.

Med henvisning til tegningerne vises resultaterne, der opnås ved anven- delse af en elektrokemisk celle i overensstemmelse med ovennævnte U.S.A. patentskrift nr. 3.791.871. Før hver test rulles prøver af
25 lithiummetal til tykkelser på 12,3 mm, rengøres med toluen og skæres til skiver med en diameter på 36 mm ved hjælp af et pressestempel. Skiverne rengøres på den ene side med sandpapir til frisk metal og presses derefter på anodeholde- ren. Siden og bagsiden på den monterede anode isoleres med
30 et polystyrenlag eller med mikroflex-stop off-lack. Elek- trodeoverfalden slibes derefter med sandpapir til frisk me- tal, rengøres med toluen og forbehandles med en butylchlo- rid/benzenopløsning for at resultere i hurtig aktivering af energicellen. Katoden bestod af jernnet, 12 x 12 mesh
35 med 0,58 mm diameter tråd, der punktsvejses til 0,76 mm dy- be ribber, der med en afstand på 6,0 mm og tykkelse på 1,2

mm bearbejdes til en stålunderlagsplade. Under test cirkulerer elektrolyten fra beholderen, som holdes på en konstant temperatur indenfor $\pm 0,1^\circ\text{C}$ gennem en konstant temperaturvarmeveksler gennem cellen og føres tilbage til beholderen ved
5 hjælp af en mikropumpemodel 10-41-316 med spændingskontrol. Strømningshastigheden måles med en Brooks Model 110.250 mm Full-View Rotameter med udskiftelig skala og flydere for strømningshastigheder til 2,1 liter/minut eller til 3,9 liter/minut. Det udviklede volumen hydrogengas under reaktion-
10 en adskilles fra elektrolyten i beholderen og måles derefter i en American Meter Co. model 802 fugtighedstestmeter med 1 liter pr. gang. Måleren modificerede med en optisk udlæsningsskive til frembringelse af digitaludgangssignal for fugtighedsmåleren. Cellespændingen og strømmen registreredes
15 på en Hewlett-Packard Moseley Autograf model 7001 AM X-Y Recorder, da cellebelastningen varieredes med en variabel carbonmodstand. En kadmium/kadmiumoxid-referenceelektrode ($E = 0,809\text{V}$ vs H_2) anbragt i katodeholderen, nabostillet til nikkelkatodeskærmen og anvendes til registrering af anode- og
20 katodespændingsværdierne som en funktion af strømmen.

Med speciel henvisning til figur 1 angives der resultaterne af en afprøvning for bestemmelse af katodepolarisationen, som en funktion af nitritkoncentrationen i en vandholdig kaliumhydroxidelektrolyt. I denne figur er spændingen, der må på-
25 trykkes katoderne, for at reaktionen skal skride fremad (overspænding), afsat som funktion af logaritmen af strømtætheden. Denne metode for repræsentation af elektrokemiske data udvikledes først af Tafel "Zeitschrift Physikalische Chemie", 50, 641 (1905). Tafel viste empirisk, at sammenhængen $\eta = a + b$
30 $(\log i)$, gælder for elektrokemiske reaktioner. η repræsenterer overspændingen for reaktion, dvs. den virkelige drivspænding minus den teoretiske termodynamiske værdi, i repræsenterer strømtætheden (A/cm^2) og a og b er konstanter.

Af fig. 1 fremgår, at den katodiske sønderdeling af 3 M kaliumhydroxid (for dannelse af hydrogengas) indtræder ved meget højere overspænding end for den samme opløsning indeholdende 0,5 M natriumnitrit eller 2,0 M natriumnitrit. Reak-

tanten, NO_2^- medfører ikke blot, at der ikke dannes gas, men giver også en meget mindre polarisering end vand. Dette indebærer, at en celle med opløselig reaktant og lithium ikke kræver nogen ventilation og kan således anvendes i et lukket system og muliggør opnåelse af meget højere energi. Sædvanligvis må lithium/vand-cellen anvendes som et åbent system, og den dannede hydrogen gas slippes ud ved katoden. Ved opnåelse af disse resultater var elektrolytens overfladehastighed (dvs. den hastighed, som en overfladeenhed af elektrolyten udviser) 55 cm/sek. og elektrolyttemperaturen 25°C .

I fig. 2 er der afsat de opnåede resultater med lithium i en 3 M kaliumhydroxid som elektrolyt. Katodereaktanterne i denne celle var vand og elektrolytens overfladehastighed var 55 cm/sek. Elektrolyttemperaturen var 25°C og kontaktrykket mellem anoden og katoden var 62 kPa. Det fremgår deraf, at cellen udviser et relativt lavt strømudbytte, energiintensitet og cellepotentiale. Hydrogen gas dannes ved den inaktive jernkatode, som følge af katodisk reduktion af vand i elektrolyten.

I fig. 3 er afsat resultaterne for den i fig. 2 viste celle, hvor den 3 M kaliumhydroxid desuden indeholder 2 mol natriumnitrit. Fig. 3 viser klart den store forbedring i strømudbyttet, energiintensiteten og cellepotentialet ved en given strømstyrke, som opnås ved anvendelse af nitritionen ifølge opfindelse som katodereaktant i stedet for vand. Produkterne fra katodereaktionerne er opløselige i elektrolyten, og der udvikles ikke nogen gas.

I fig. 4 er afsat hastigheden for direkte korrosion/parasitisk reaktion af lithium ved forskellige 3 M kaliumhydroxidopløsninger ved 25°C som funktion af cellepotentialet. Korrosionsstrømstyrken opnås ved måling af den udviklede hydrogen gas ved anoden, da, bortset fra elektrolyten uden tilsætning, udvikledes der ikke nogen gas ved katoden. Ved tilpasning af Faradays lov for elektrolyse med hensyn til det

korrigerede gasvolumen pr. tidsenhed beregnes korrosionsstrømstyrken. Denne divideredes derefter med overfladen på lithiumanoden for at nå frem til strømtætheden. Deraf fremgår, at nitritionerne ifølge opfindelsen i hovedsagen undertrykker korrosionsstrømmene og methanoltilsætninger (i volumenprocent), som beskrives i danske patentansøgning nr. 1497/76, undertrykker korrosionen i endnu højere udstrækning, og at en kombination af nitritioner og methanol i elektrolyten medfører en optimal undertrykkelse af korrosionsstrømmen. Den største celleeffektivitet opnås fra et system, hvor korrosionsreaktionen reduceres til et minimalt niveau over et så bredt område for driftspændingerne som muligt.

Molariteten for den alkaliske elektrolyt bestemmes af strømtæthedsbehovet for systemet og af driftstemperaturen. Eksempelvis kræves lav strømtæthed og højspændingsdrift, stor koncentration af alkalihydroxidet, dvs. 4 M og mere. Ligeledes kræver højtemperatursystemer høj molaritet for stabilitet. Høj energi, dvs. stor strømtæthed, kræver mere fortyndede opløsninger. Lithiumhydroxid-elektrolyter anvendes f.eks. ved koncentrationer på ca. 1,5 M op til mætning 5,3 M. Sædvanligvis anbefales, at koncentrationsområdet for lithium ligger fra 2 M op til mætning.

For at opnå en effektiv drift af cellen med lithium og organisk opløselige ioner anbefales, at området for den opløselige ionkoncentration er fra 0,2 M op til dens respektive mætningsgrænse i lithiumhydroxidelektrolyten med undtagelse af, at hypochloritkoncentrationen ikke må overstige 5 M. Hvis for lav koncentration af katodereaktanten anvendes, dvs. under 0,2 M, kan effektiviteten af cellen formindskes på grund af masseoverføringssystemer, nemlig at tilstrækkelig mængde reaktant ikke er tilgængelig ved den inaktive katode for at opretholde den ønskede grad af elektrokemisk reduktion. I dette tilfælde kan strømstyrken, som udtages fra cellen, være utilstrækkelig ved alle ønskede spændinger. I tilfælde med hypochlorition bør koncentrationen 5 M ikke overskrides, da interne celleophedningsproblemer forekommer ved højere kon-

centrationer. Sædvanligvis kan fremragende celleafloadninger opnåes ved samtlige nævnte reaktanter, hvis deres koncentration er i området 0,5-2 M, og den vandholdig alkaliske elektrolyt, f.eks. lithiumhydroxid, er i området 3-4,5 M.

5 P a t e n t k r a v.

Elektrokemisk celle, som i hovedsagen består af en reaktiv metalanode, som er højreaktiv med vand, og som er adskilt fra en katode ved en elektrisk isolerende film, der dannes på anoden ved tilstedeværelse af vand og en vandholdig alkalisk elektrolyt, i hvilken anoden og katoden er nedsænkede, hvilken elektrolyt har egenskaber, så at der ved anoden kan finde en elektrokemisk opløsning af det reaktive metal til vandopløselige reaktive metalioner sted og en omdannelse af et vandholdigt salt til et fast salt i form af en porøs film på anoden, k e n d e t e g n e t ved, at der i den vandholdige alkaliske elektrolyt indgår i det mindste en i elektrolyten opløselig uorganisk ion, udvalgt blandt nitrit-, hypochlorit-, chlorat-, bromat-, dinitrogentrioxid- eller sulfationer, der ved katoden reduceres under undertrykkelse af vands reduktion.

Fremdragne publikationer:

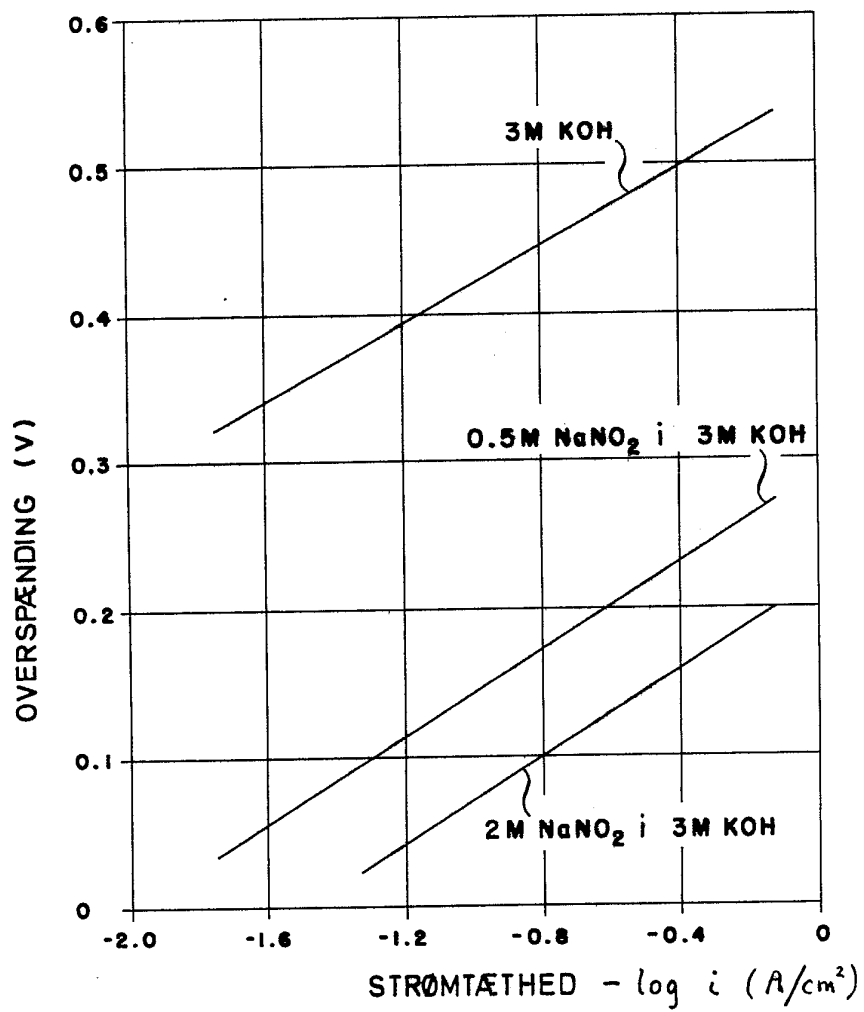


Fig. 1

Fig. 2

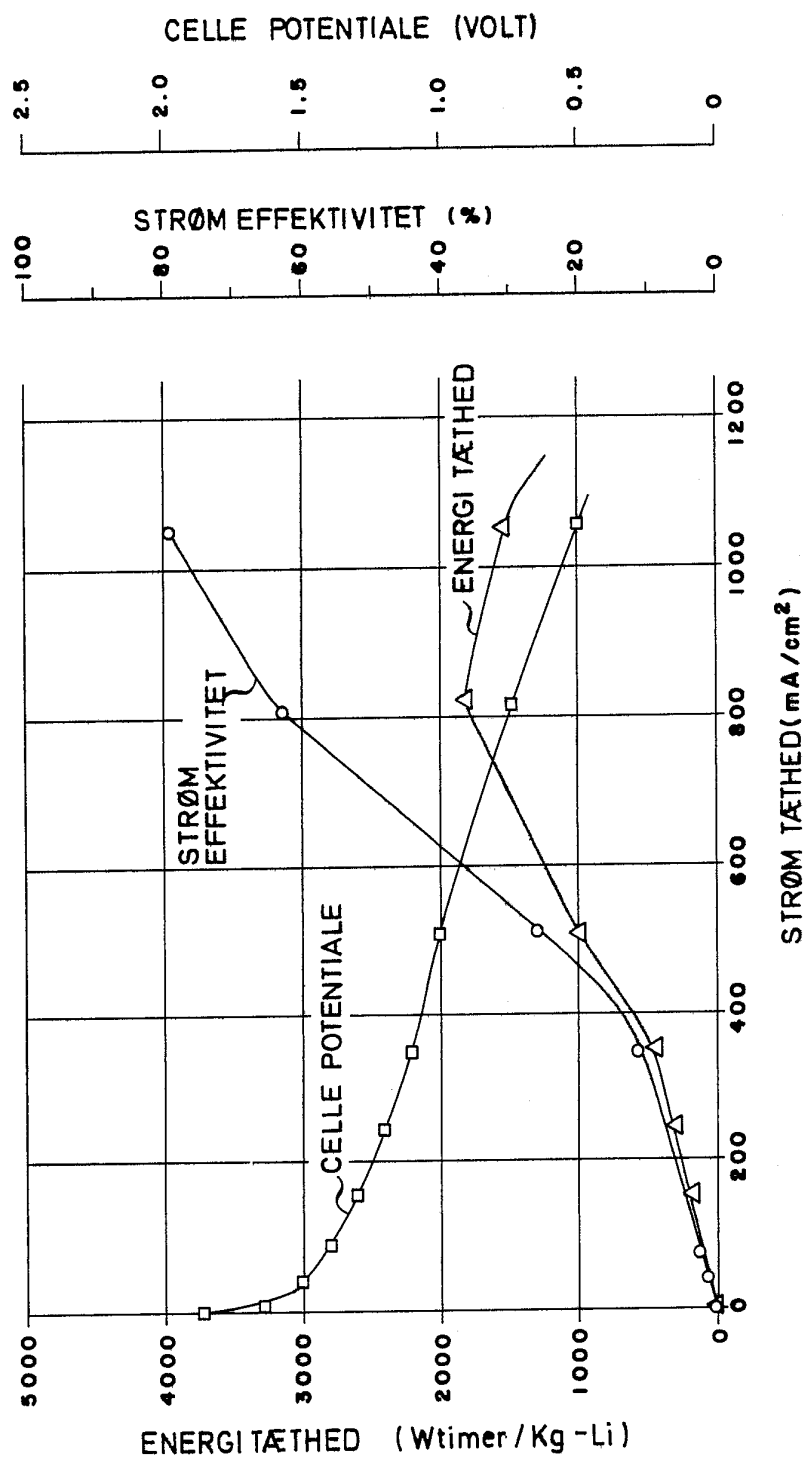


Fig. 3

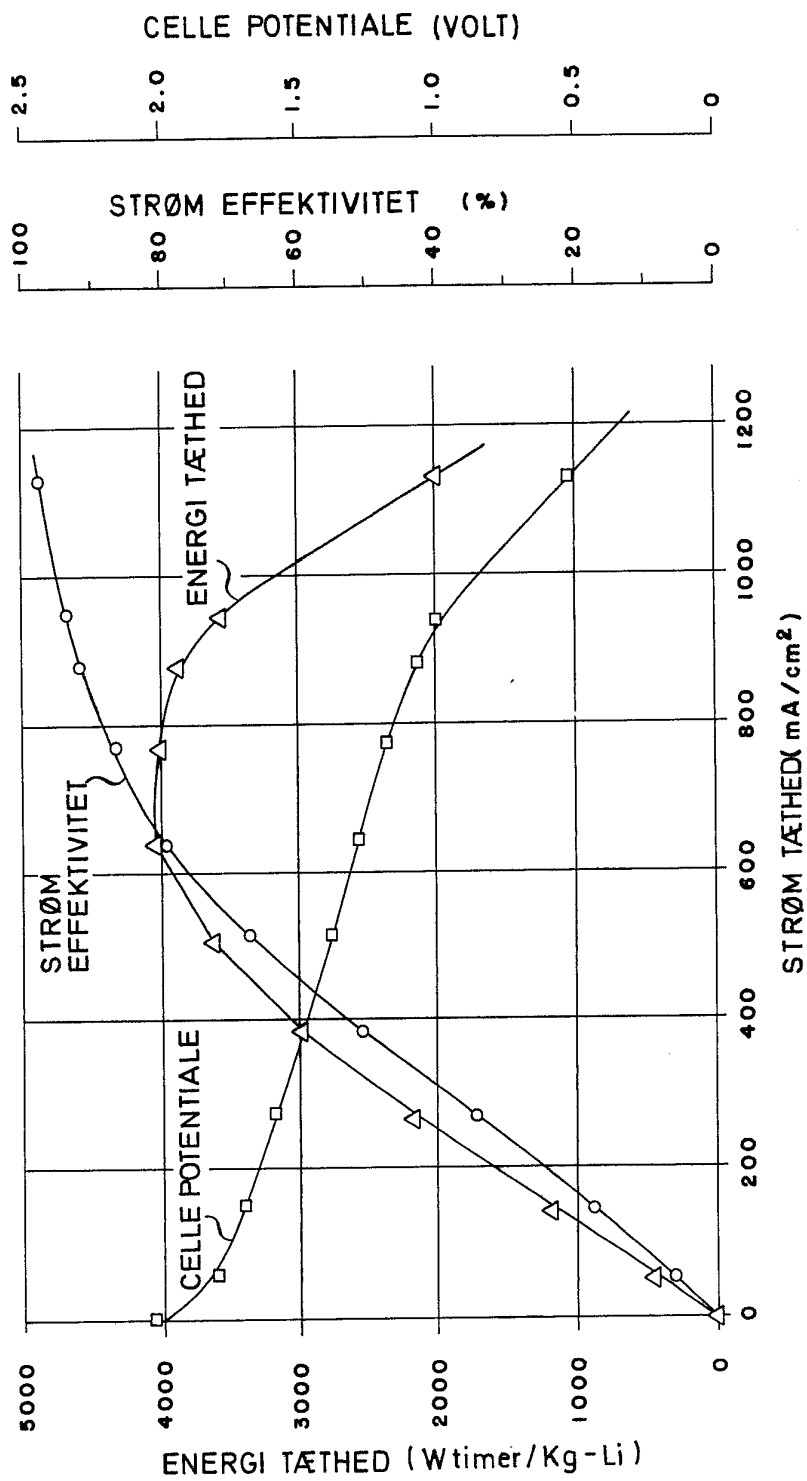


Fig. 4

