

(19) DANMARK



(12) FREMLÆGGELSESSKRIFT (11) 143923 B

DIREKTORATET FOR
PATENT- OG VAREMÆRKEVÆSENET



- (21) Ansøgning nr. 4199/75 (51) Int.Cl.³ G 11 C 11/40
H 01 L 29/76
- (22) Indleveringsdag 18. sep. 1975
- (24) Løbedag 18. sep. 1975
- (41) Alm. tilgængelig 21. mar. 1976
- (44) Fremlagt 26. okt. 1981
- (86) International ansøgning nr. -
- (86) International indleveringsdag -
- (85) Videreførelsesdag -
- (62) Stamansøgning nr. -
- (30) Prioritet 20. sep. 1974, 2445137, DE 12. feb. 1975, 2505816, DE
25. mar. 1975, 2513207, DE 5. jun. 1975, 2525062, DE m. fl.
- (71) Ansøger SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT, Berlin und Muenchen, 8 Muenchen 2,
DE.
- (72) Opfinder Bernward Roessler, DE.
- (74) Fuldmægtig Internationalt Patent-Bureau.

- (54) Fremgangsmåde til drift af en
n-kanal lagerfelteffekttransis-
tor og n-kanal lagerfelteffekt=
transistor til udnyttelse af
fremgangsmåden.

Opfindelsen angår en fremgangsmåde til drift af en speciel elektronisk komponent med lageregenskaber. Fremgangsmåden og hertil særligt velegnede konstruktive udførelser af komponenten er udviklet med henblik på et programlager, dvs. et såkaldt ROM-lager til et telefonformidlingsanlæg, men egner sig også for andre lagre som f.eks. programlagre til databehandlingsanlæg.

Ved opfindelsen gås der ud fra en n-kanal lagerfelteffekttransistor, der som styreelektrode i det mindste har en på alle sider af en isolator omgivet, svævende lagerstyreelektrode, til hvis omladning der benyttes elektroninjicerende kanalinjektion, hvorved elektroner ved hjælp af et i kilde-drænretningen virkende elektrisk felt accelereres og opvarmes så kraftigt, at de kan overvinde energitærsklen til isolatorens ledningsbånd og nå frem til lagerstyreelektroden, navnlig til brug ved et programlager i et telefonformidlingsanlæg.

D
143923 B

En sådan fremgangsmåde er beskrevet i en artikel i IEEE-Journal of Solid State Circuit, SC7, nr. 5, oktober 1972, side 369-375, hvilket litteratursted forklares nærmere i det følgende.

Lagerfelteffekttransistorer med lageregenskaber, ved hvilke der forefindes en på alle sider af en isolator omgivet, i elektrisk henseende svævende lagerstyreelektrode, er kendt fra et meget stort antal offentliggørelser. I det følgende gives en oversigt over de som videnskabens og teknikkens stude kendte egenskaber ved sådanne lagerfelteffekttransistorer. Sådanne lagerfelteffekttransistorer kan programmeres ved hjælp af lavineeffekten, således som det f.eks. er kendt fra tidsskriftet Sol. St. Electronics, nr. 17, 1974, side 517-529. Den svævende lagerstyreelektrode oplades nemlig med ladninger, der som følge af lavineeffekten ved grænsen mellem drænområde og substratområde opvarmes ved gennembrud gennem denne spærrende pn-overgang og på grund af deres forhøjede energi kan trænge gennem isolatoren, navnlig hvis der mellem substratet og lagerstyreelektroden påtrykkes en spænding der accelererer disse ladninger. Eksempelvis fremgår det af fig. 1 i USA patentskrift nr. 3.660.819, at sådanne lagerfelteffekttransistorer med en svævende lagerstyreelektrode også kan have en yderligere styreelektrode, som indvirker kapacitivt på lagerstyreelektroden og herved øver indflydelse på potentialet på lagerstyreelektroden og dermed også på dræn-kildestrømmen. Sådanne lagerfelteffekttransistorer med svævende lagerstyreelektrode og yderligere styreelektrode kendes fra yderligere trykskrifter i stort antal.

Med hensyn til de ved hjælp af lavineeffekten opvarmede ladninger, som injiceres mod lagerstyreelektroden, kan der være tale om elektroner eller om huller, idet der som kendt inden for teknikkens stude ved lagerfelteffekttransistorer med n-kanal er tale om huller og for lagerfelteffekttransistorer med p-kanal om elektroner. De ved hjælp af lavineeffekten opvarmede ladningsbærere, som oplader lagerstyreelektroden, har altså samme polaritet som minoritetsladningsbærerne i drænområdet.

Ved de kendte lagerfelteffekttransistorer vil lagerstyreelektroden således altid blive negativt opladet, når der er tale om en lagerfelteffekttransistor med p-kanal, og positivt, når der er tale om en lagerfelteffekttransistor med n-kanal. Den ved hjælp af lavineeffekten opladede lagerstyreelektrode vil således for begge lagerfelteffekttransistortyper til stadighed styre den pågældende felt-effekttransistor i dens ledende tilstand, idet lagerstyreelektroden uafhængigt af kanaltype som følge af de pågældende injicerede ladninger gennem influens indvirker således på substratområdet mellem drænområdet og kildeområdet, at en dræn-kildestrøm i forhold til uopladet lagerstyreelektrode ikke hæmmes, men fremmes. De injicerede ladninger indvirker altså således på dette substratområde, at der her gennem influens opsamles frie ladninger, der har samme polaritet som majoritetsladningsbærerne i drænområdet og kildeområdet.

Inden for teknikens stadiet anvendes i overensstemmelse hermed som lagerfelteffekttransistorer altid felteffekttransistorer af berigelsestypen, idet der kun ved en sådan felteffekttransistor optræder en meget høj modstand mellem drænområdet og kildeområdet i ikke-programmeret, dvs. afladet tilstand for lagerstyreelektroden og en i forhold hertil meget lav modstand i programmeret tilstand, altså et meget højt forhold mellem disse to modstandsværdier. Dette fremgår af fig. 7 på tegningen, hvor der er vist et diagram for dræn-kildestrømmen I_{DS} 's afhængighed af styreelektrode-kildespændingen U_{G2} ved en kendt lagerfelteffekttransistor med n-kanal, jf. sammenligningsvis fig. 2 og 5 i førnævnte artikel i IEEE J. Sol.St. Circ., SC7, nr. 5, oktober 1972, side 369-375. Kurven G_0 i fig. 7 gælder for uopladet lagerstyreelektrode i en felteffekttransistor af berigelsestypen, og kurven G_1 gælder for samme felteffekttransistor med lagerstyreelektroden opladet ved hjælp af lavineeffekten. Som følge af lagerstyreelektrodens opladning vil denne kendte lagerfelteffekttransistor, som det ses ved 1 i fig. 7, også være ledende ved $U_{G2}=0$. Denne felteffekttransistor af berigelsestypen vil derfor efter programmering med hensyn til styreelektroden G_2 have samme egenskaber som en felteffekttransistor af udtømmningstypen. Først efter sletning, dvs. afladning af lagerelektroden, vil lagerfelteffekttransistorens modstand for $U_{G2}=0$ igen være meget stor, da der for denne felteffekttransistor så igen nøjagtigt eller med tilnærmelse gælder kurven G_0 . Dermed har felteffekttransistoren således igen med tilnærmelse berigelsestypeegenskaber med hensyn til styreelektroden G_2 .

Hvis man i stedet udstyrede denne kendte lagerfelteffekttransistor med en kanal af udtømmningstypen, ville den som følge af lavineeffekten opladede lagerstyreelektrode på ugunstig vis gøre den her uden videre bestående kanal endnu mere lav-ohmsk end den allerede er i lagerstyreelektrodens uprogrammerede tilstand; også dette er anskueliggjort i fig. 7. Kurven G_1 svarer til dræn-kildestrømmen I_{DS} 's afhængighed af styreelektrode-kildespændingen U_{G2} ved en n-kanal lagerfelteffekttransistor af udtømmningstypen i uprogrammeret tilstand af lagerstyreelektroden. Oplades denne felteffekttransistors lagerstyreelektrode ved hjælp af lavineeffekten, vil kurven G_2 svare til dræn-kildestrømmen I_{DS} 's afhængighed af styreelektrode-kildespændingen U_{G2} . Gennem opladningen af denne felteffekttransistors lagerstyreelektrode, altså i lagerelektrodens programmerede tilstand, vil felteffekttransistoren som vist ved 1' i fig. 7 være ledende ved $U_{G2}=0$. I denne tilstand har denne felteffekttransistor af udtømmningstypen derfor med hensyn til styreelektroden G_2 stadig de samme udtømmningstypeegenskaber som i den uprogrammerede tilstand. Gennem programmeringen forhøjes denne lagerfelteffekttransistors ledningsevne kun i forholdsvis ringe grad, f.eks. med en faktor 2, så snart denne felteffekttransistor af udtømmningstypen er programmeret ved hjælp af lavineeffekten, således som det i fig. 7 er vist ved kurven G_2 's skæringspunkt med I_{DS} -aksen.

Ved en lagerfelteffekttransistor af udtømmningstypen er forholdet mellem modstanden mellem drænområdet og kildeområdet i uprogrammeret tilstand og den samme modstand i programmeret tilstand således væsentlig dårligere end ved en lagerfelteffekttransistor af berigelsestypen. Inden for teknikens stadi er der derfor i almindelighed kun anvendt lagerfelteffekttransistorer af berigelsestypen.

Som det er kendt indenfor teknikens stadi kan lagerfelteffekttransistorer med svævende lagerstyreelektrode slettes med optiske midler, f.eks. ved bestråling med ultraviolet lys. Ved en sådan bestråling kan huller eller elektroner nemlig opvarmes således, at de gennemtrænger isolatoren og på denne måde kan aflade lagerelektroden.

Derudover er der blevet bekendtgjort en metode til sletning af sådanne lagerfelteffekttransistorer med svævende lagerstyreelektrode med elektriske midler. Herved bliver den opladede lagerstyreelektrode i en første lagerfelteffekttransistor ved hjælp af en anden lavineeffekt, som frembringes i en anden, med den første lagerfelteffekttransistor parallelkoblet lagerfelteffekttransistor, senere afladet med ladninger af modsat polaritet, således som det fremgår af fig. 1 og 4 med tilhørende beskrivelse i det allerede nævnte IEEE-trykskrift. Den pågældende lagerfelteffekttransistor repræsenterer med henblik herpå en parallelkobling af en lagerfelteffekttransistor med p-kanal og en lagerfelteffekttransistor med n-kanal med en enkelt fælles lagerstyreelektrode, således som det er vist i fig. 6 (b) i samme trykskrift. I overensstemmelse hermed har denne lagerfelteffekttransistor-parallelkobling ifølge fig. 1 i trykskriftet to forskellige pn-overgange, som til frembringelse af opvarmede elektroner eller huller skiftevis kan belastes til gennembrud. Som det fremgår af fig. 4 i trykskriftet, svarer lagerfelteffekttransistor-parallelkoblingen i uprogrammeret tilstand til en lagerfelteffekttransistor af berigelsestypen og er derfor ikke ledende, når der ikke ligger nogen spænding på dens styreelektrode. Ved hjælp af den første lavineeffekt styres parallelkoblingen med elektroner, som injiceres i lagerstyreelektroden, i den programmerede, dvs. ledende tilstand, således som det er vist ved den i trykskriftets fig. 4 angivne 1-tilstand. Ved hjælp af den anden lavineeffekt aflades parallelkoblingen igen med huller, således som det er vist ved den i nævnte fig. 4 angivne 0-tilstand.

Med hensyn til styreelektroden er alle disse kendte felteffekttransistorer således i uprogrammeret tilstand af berigelsestypen. I programmeret tilstand opfører de sig imidlertid altid som felteffekttransistorer af udtømmningstypen betragtet ud fra styreelektroden. Da afladningen på en oftest utilsigtet måde ikke forløber uden visse forstyrrelser, vil der i lagerstyreelektroden eller i isolatorens kontaktsteder mellem lagerstyreelektrode og substrat forblive visse restladninger, således at lagerfelteffekttransistor-parallelkoblingen efter afladningen ikke nøjagtigt udviser de samme egenskaber, som oprindeligt forelå

før programmeringen, jf. spredningerne i målepunkterne i det nævnte trykskrifts fig. 4 og 5. Til trods herfor opfører parallelkoblingen af disse lagerfelteffekttransistorer sig efter afladningen imidlertid på samme måde som oprindeligt som en felteffekttransistor af berigelsestypen, der efter fornyet programmering igen bliver ledende på samme måde som en felteffekttransistor af udtømmningstypen.

Som det fremgår af fig. 2 og 5 i det citerede IEEE-trykskrift, foreligger sådanne forstyrrelser ved elektrisk sletning af lagerfelteffekttransistorer også ved en kendt, elektrisk sletbar felteffekttransistor med en ca. 10 μ lang kanal og et p-ledende substrat med en specifik modstand på ca. 10 ohm.cm og i øvrigt med sædvanlig opbygning af drænområdet og kildeområdet. Der er her tale om en n-kanal lagereffekttransistor med isoleret svævende lagerstyreelektrode G1 og udefra styrbar yderligere styreelektrode G2. Som det er sædvanligt inden for teknikens stade, er lagerfelteffekttransistoren åbenbart af berigelsestypen i uprogrammeret tilstand. Efter fremstillingen, men før programmeringen vil felteffekttransistoren i overensstemmelse hermed være spærret ved spændingsfri styreelektrode G2, således som det fremgår af kurven med betegnelsen "as grown" i trykskriftets fig. 5. Gennem udnyttelse af lavineeffekten programmeres denne lagerfelteffekttransistor ved hjælp af huller og styres herved som sædvanligt inden for den kendte teknik til ledende tilstand, således som det er vist ved den i trykskriftets fig. 5 angivne 1-tilstand. Ved programmeringen antager denne felteffekttransistor af berigelsestypen således egenskaber som en felteffekttransistor af udtømmningstypen betragtet ud fra styreelektroden. I denne henseende adskiller denne lagerfelteffekttransistor sig således ikke fra den anden kendte n-kanal lagerfelteffekttransistor med svævende lagerstyreelektrode.

Sletningen sker imidlertid hverken med optiske midler eller ved udnyttelse af en anden lavineeffekt, således som det er tilfældet ved den i trykskriftets fig. 1 viste parallelkobling af to lagerfelteffekttransistorer. Den i trykskriftets fig. 5 angivne sletning af den positivt opladede lagerelektrode sker elektrisk under udnyttelse af en kun af forfatterne til den nævnte artikel beskrevet fysisk effekt, der betegnes som "kanalinjektion". Ifølge trykskriftet styres den pågældende lagerfelteffekttransistor ved sin styreelektrode med henblik herpå i en tilstand, hvor den næsten ikke længere er ledende, således at der i et lille område af kanalen hersker en betydeligt ringere ladningsbæretæthed, dvs. elektrontæthed, end i kanalens øvrige områder. I dette ladningsfattige område opstår der højere længdefeltstyrker mellem drænområdet og kildeområdet end i de øvrige kanalområder, som er mere rige på ladninger. De i det ladningsfattige område strømmende, frie ladninger opvarmes derfor kraftigere end i de øvrige kanalområder. Ved tilstrækkelig opvarmning i det ladningsfattige område kan disse ladninger trænge gennem isolatoren og oplade den svævende lagerstyreelektrode G1. De ved disse kanalinjektioner frembragte, isolatoren gennemtrængende ladninger

er her altid elektroner, og disse elektroner tjener til opladning af lagerstyreelektroden i denne n-kanal lagerfelteffekttransistor. Lagerstyreelektroden får således til sletning tilført opvarmede elektroner frembragt ved hjælp af kanalinjektion og til programmering tilført opvarmede huller frembragt ved hjælp af lavineeffekt..

Efter den ved hjælp af denne kanalinjektion frembragte afladning, som ifølge trykskriftet forløber forholdsvis langsomt, har lagerfelteffekttransistoren med tilnærmelse samme berigelsestype-egenskaber som før programmeringen. Ved spændingsfri styreelektrode vil dræn-kildestrækningen således ikke være ledende eller kun være ledende i ringe grad. Også her gør der sig imidlertid efter afladningen normalt små forstyrrelser gældende, idet der forbliver restladninger på lagerstyreelektroden eller i isolatorens kontaktsteder mellem lagerstyreelektroden og substratet. Som følge af disse restladninger har lagerfelteffekttransistoren efter sletningen ikke nøjagtigt, men kun omtrent samme egenskaber som før programmeringen.

Da disse kendte lagerfelteffekttransistorer ligesom næsten alle de i stort antal kendte lagerfelteffekttransistorer med en ved lavinegennembrud opladelig, svævende lagerstyreelektrode ved opladning styres fra ikke-ledende til ledende tilstand, må hver celle i et med sådanne lagerfelteffekttransistorer opbygget lager i serie med lagerfelteffekttransistoren indeholde mindst en yderligere kobler, f.eks. en styrbar felteffekttransistor, således som det fremgår af fig. 3 i det førnævnte IEEE-trykskrift og af fig. 2 i USA patentskrift nr. 3.744.036 samt et stort antal andre trykskrifter, der beskriver sådanne koblere. Den yderligere kobler tjener til at undgå, at den ledende kanal i en programmeret opladet lagerfelteffekttransistor ved læsning af en anden lagerfelteffekttransistor indenfor samme lagermatriks ikke foregøgler, at også den anden lagerfelteffekttransistor har en ledende kanal, der udvirker en strøm ved lagermatriksens læseudgang. Kravet om en ekstra kobler fra hver lagercelle medfører imidlertid ved opbygning af et lager et betydeligt forøget arealforbrug på overfladen af den pågældende skive (chip) samtidig med, at opbygningen af den enkelte lagercelle kompliceres betydeligt, hvilket resulterer i en høj kassationsprocent ved fremstillingen af sådanne lagre. Til trods herfor er lagre med sådanne ved hjælp af lavinegennembrud opladelige lagerfelteffekttransistorer fremstillet, bragt på markedet og beskrevet i litteraturen i stort antal.

En lagercelle med kun en enkelt felteffekttransistor i form af en lagerfelteffekttransistor med svævende lagerstyreelektrode og med to yderligere styreelektroder er kendt fra fig. 3 i USA patentskrift nr. 3.728.695. Lagerfelteffekttransistoren styres her ved opladning i en særlig kraftigt ikke-ledende tilstand i stedet for i ledende tilstand. Idet denne lagerfelteffekttransistor har n-kanal, og lagerstyreelektroden her ikke oplades positivt, men negativt altså med

ladninger, hvis polaritet svarer til majoritetsladningsbærerne i drænområdet. Gennem denne ret sjældne foranstaltning muliggøres drift af lagercellen uden en yderligere kobler, fordi en opladet lagerfelteffekttransistor ved læsning af en anden lagerfelteffekttransistor i samme lagermatriks ikke længere kan forfalske det aflæste signal. Til opladningen lægges der på kildeområdet og drænområdet samme høje positive potential, som også påtrykkes den ene af de to forskellige styreelektroder i samme lagerfelteffekttransistor, medens den anden styreelektrode ligger på jordpotentiale. Der udnyttes således til opladningen en særlig effekt, ved hvilken kilde-drænspændingen er 0. Opbygningen af en sådan lagerfelteffekttransistor er imidlertid forholdsvis kompliceret navnlig som følge af tilstedeværelsen af to yderligere styreelektroder, som er undergivet bestemte dimensioneringskrav og vanskelige at fremstille. Enhver sådan komplikation af fremstillingen forøger kassationsprocenten ved fremstilling af lagre opbygget af sådanne lagerfelteffekttransistorer.

Ved opfindelsen tilsigtes det at anvise en fremgangsmåde til drift af en n-kanal lagerfelteffekttransistor samt en n-kanallagerfelteffekttransistor til udnyttelse af denne fremgangsmåde, hvorved der kan opnås en særlig enkel opbygning og dermed en forholdsvis lav kassationsprocent, idet lagerfelteffekttransistorens lagerstyreelektrode ved programmeringen oplades således med ladninger, der er opvarmet i selve lagerfelteffekttransistoren, at opladningen gennem influens indvirker hæmmende på dræn-kildestrømmen i stedet for fremmende, således at den opladede lagerstyreelektrode udøver en spærrevirkning på kilde-drænstrækningen. Dette tilsigtes opnået uden anvendelse af parallelkobling af to lagerfelteffekttransistorer med forskellige kanaler og en fælles svævende lagerstyreelektrode. Alle ladninger til opladning og afladning af lagerstyreelektroden skal derfor frembringes i en og samme lagerfelteffekttransistor ved opvarmning. Det tilsigtes således, at anvise en økonomisk og med hensyn til fremstillingstolerancer mindre kritisk opbygning. Derudover skal opfindelsen muliggøre elektrisk sletning ved hjælp af i lager felteffekttransistoren selv opvarmede, frie ladninger. Opfindelsen kan navnlig realiseres i forbindelse med sådanne lagerfelteffekttransistorer, hvis kanal både i programmeret og ikke-programmeret tilstand til stadighed er fuldstændigt ikke-ledende.

Den ved opfindelsen anviste løsning af denne opgave beror på en udvælgelse efter en omhyggelig gennemgang af de egenskaber ved sådanne lagerfelteffekttransistorer, som er blevet bekendt gennem de talrige publikationer vedrørende videnskabens og teknikkens stadi. Opfindelsen beror endvidere på erkendelsen af, at for at undgå en yderligere kobler skal lagerstyreelektroden ved programmeringen ikke oplades med ladningsbærere, hvis polaritet svarer til minoritetsladningsbærerne i drænområdet, men med ladningsbærere, hvis polaritet svarer til majoritetsladningsbærerne i drænområdet, altså ved en n-ledende kanal med elektroner

i stedet for med huller. Opfindelsen tager også sit udgangspunkt i den erkendelse, at der ved udnyttelse af den hidtil kun lidet påagtede kanalinjektion med overraskende lave kilde-drænsændringer forholdsvis nemt kan opnås en så kraftig opvarmning af elektroner, men ikke af huller, at energitærsklen for de sædvanligvis forekommende oxydisolatorer kan overvindes og elektroner trænge frem til lagerstyreelektroden. Det er gennem undersøgelser påvist, at kanalinjektion er egnet også til opladning og ikke blot til afladning af lagerstyreelektroden. Anvendelsen af kanalinjektion på denne måde medfører yderligere den ikke ventede fordel, at der trods den økonomiske opbygning ved hjælp af gennem kanalinjektion frembragte elektroner kan opnås en overraskende hurtig programmering, f.eks. indenfor et millisekund. Alene udnyttelse af en n-kanal medfører i sig selv, at den nødvendige tid til programmeringen er væsentligt kortere end, hvis der med samme kilde-drænsændring vælges en p-ledende kanal.

Med udgangspunkt i den førnævnte fra IEEE-Journal of Solid State Circuit, SC7, nr. 5, oktober 1972, side 369-375, kendte fremgangsmåde til drift af en n-kanal lagerfelteffekttransistor, der som styreelektrode i det mindste har en på alle sider af en isolator omgivet, svævende lagerstyreelektrode, til hvis omladning der benyttes elektroninjicerende kanalinjektion, hvorved elektroner ved hjælp af et i kilde-drænretningen virkende elektrisk felt accelereres og opvarmes så kraftigt, at de kan overvinde energitærsklen til isolatorens ledningsbånd og nå frem til lagerstyreelektroden, navnlig til brug ved et programlager i et telefonformidlingsanlæg, er fremgangsmåden ifølge opfindelsen ejendommelig ved, at kanalinjektionen udnyttes til programmering ved opladning af lagerstyreelektroden til et i forhold til den uladete tilstand negativt potential, idet der på drænelektroden lægges et i forhold til kildepotentialet så kraftigt positivt potential, at lagerstyreelektroden oplades negativt af i den ledende kanal opvarmede elektroner.

Opfindelsen angår yderligere en n-kanal lagerfelteffekttransistor til udnyttelse af denne fremgangsmåde. Ifølge opfindelsen er denne n-kanal lagerfelteffekttransistor ejendommelig ved, at dens kanal er kortere end 10μ (f.eks. $1 - 5 \mu$).

Gennem anvendelse af en sådan ekstremt kort kanal opnås som nærmere forklaret i det følgende, at lagerfelteffekttransistoren kan drives med forholdsvis små driftsspændinger mellem drænområdet og kildeområdet og med forholdsvis små styrespændinger på styreelektroden.

Ved opfindelsen udnyttes således den hidtil næsten ikke påagtede kanalinjektion ikke til sletning, men til programmering af en n-kanal lagerfelteffekttransistor. Elektronerne, som oplader lagerstyreelektroden, styrer dræn-kildestrækningen i spærretilstand, fordi disse i lagerstyreelektroden injicerede ladninger gennem influens bevirker en ansamling af huller mellem drænområdet og kil-

deområdet, således at modstanden mellem drænområdet og kildeområdet forøges. Hvis lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen i uprogrammeret tilstand udviser en kanal af berigelsestypen, dvs. en normalt spærret kanal, vil denne lagerfelteffekttransistor ved programmeringen blive spærret endnu kraftigere end den allerede er i uprogrammeret tilstand.

Hvis lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen har en kanal af udtømmningstypen, hvilket er usædvanligt ved kendte lagerfelteffekttransistorer, vil lagerfelteffekttransistorens kanal i programmeret tilstand som følge af de i selve kanalen ved hjælp af kanalinjektion frembragte elektroner blive spærret eller i det mindste højohmsk.

Hvis lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen igen skal slettes, kan den spærrende pn-overgang mellem drænområdet og substratet belastes til gennembrud, således at opvarmede ladninger frembragt i samme lagerfelteffekttransistorer aflader lagerstyreelektroden.

Opfindelsen og videreudviklinger af denne forklares i det følgende under henvisning til tegningen, hvis fig. 7 angår kendte lagerfelteffekttransistorer, hvoraf der allerede er givet en beskrivelse, og hvor i øvrigt

fig. 1 viser et tværsnit af en udførelsesform for en lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen,

fig. 2 tilstandsdiagrammer for udførelsesformer, som i uprogrammeret tilstand dels er af udtømmningstypen dels af berigelsestypen,

fig. 3 et tilstandsdiagram for en udførelsesform, som i uprogrammeret tilstand er af udtømmningstypen,

fig. 4 en todimensional lagermatrix med lagerceller bestående af lagerfelteffekttransistorer ifølge opfindelsen,

fig. 5 et tilstandsdiagram for en udførelsesform for en lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen med en speciel hidtil ukendt kanaludformning i form af en såkaldt "spærretype"-kanal i stedet for en kanal af udtømnings- og berigelsestypen,

fig. 6 en udførelsesform for en lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen med en sådan spærretype-kanal i uprogrammeret tilstand,

fig. 8 en illustration af sletteoperationer,

fig. 9 en illustration af isolatorens dimensionering,

fig. 10-12 en illustration af elektroderne dimensionering,

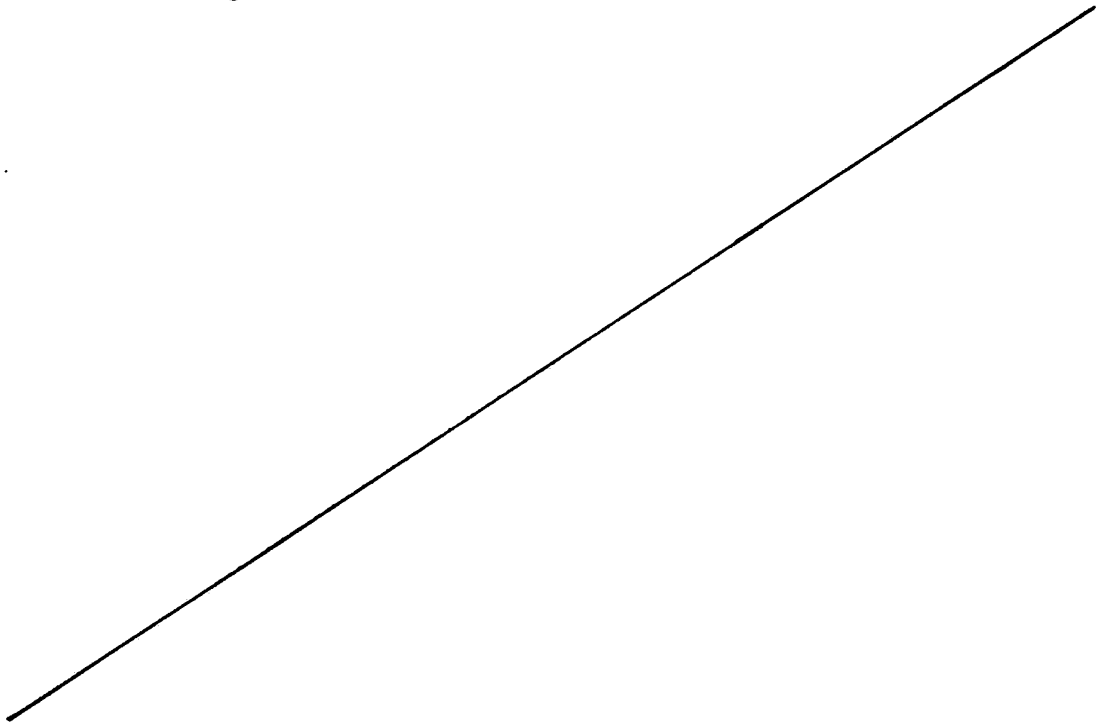
fig. 13 og 16 en illustration af styreledninger og disses driftstilstande, og

fig. 14, 15 og 17 en illustration af den elektriske forureningsfattige sletning.

Fig. 1 viser en lagerfelteffekttransistor med n-kanal og en på alle sider af en isolator I_s omgivet, elektrisk svævende lagerstyreelektrode G_1 , i det

følgende kort betegnet som lagerelektrode. Ved denne, i integreret teknik fremstillede lagerfelteffekttransistor er substratet HT således p-ledende og udviser to n-ledende områder, som danner drænområdet D og kildeområdet S, således som det er vist ved tilslutninger til disse områder i fig. 1. Mellem drænområdet og kildeområdet er der i substratet HT dannet en kanal K, når denne felteffekttransistor er styret i ledende tilstand. Som et særligt træk udviser denne lagerfelteffekttransistor også en udefra over en skematisk antydning A styrbar yderligere styreelektrode G2.

Der er således her tale om en lagerfelteffekttransistor, ved hvilken kanalinjektion udnyttes. Kanalen K udviser således som tidligere beskrevet enten i sin dårligt ledende eller sin godt ledende tilstand et område, som angivet i fig. 1 ved et kanalsted V, hvor den lokale længdefeltstyrke mellem drænområdet og kildeområdet er betydeligt højere end i kanalen K's øvrige områder. Som følge af den lokalt begrænsede, høje feltstyrke opstår der ved kanalstedet V en accelerationstrækning V i kanalen K, hvor i kanalen strømmende, frie elektroner opvarmes så kraftigt, f.eks. til en energi på 3,6 V, at en del af disse elektroner ved dette sted V og i umiddelbar nærhed heraf forlader kanalen K, trænger gennem isolatoren I_s og kan oplade lagerelektroden G1 negativt. Den nævnte accelerationsstrækning V kan f.eks. frembringes ved på den i og for sig kendte, ovenfor beskrevne måde at aktivere lagerfelteffekttransistoren ved tilslutningen A for styreelektroden G2 med en positiv spænding til dannelsen af en kanal. Der er dog også andre muligheder for frembringelse af sådanne accelerationsstrækninger V i kanalen K og dermed opnåelse af kanalinjektion.



Accelerationsstrækningen kan for eksempel dannes af en betydelig rumlig inhomogenitet i kanalbredden, nemlig ved en kraftig, lokalt begrænset, f.eks. kileformet formindskelse af kanalbredden ved stedet V og/eller en på dette sted anbragt, lokalt begrænset, kraftig fortykkelse af isolatoren Is. Gennem denne inhomogenitet i kanalen opstår der - selv i godt ledende tilstand af kanalen - en forhøjet længdefeltstyrke på dette sted, hvorved der fra dette sted kan trænge opvarmede elektroner frem til lagerelektroden G1, ved godt ledende kanal i et særligt stort antal. Jo kraftigere inhomogeniteten og jo større dræn-kildestrømmen er, des hurtigere oplades lagerelektroden med opvarmede elektroner. Dette er nærmere forklaret i beskrivelsen til tysk patentansøgning P 24 45 079.1-53.

Ved den i fig. 1 viste udførelsesform for opfindelsen er der altså tale om en lagerfelteffekttransistor med n-kanal og en på alle sider af en isolator Is omgivet, svævende lagerelektrode G1. Ved programmering oplades lagerelektroden G1 negativt ved hjælp af opvarmede elektroner, som frembringes ved hjælp af kanalinjektion, altså i en accelerationsstrækning V af kanalen K. Ved programmeringen er det gunstigt at give styreelektroden G2 en så kraftig positiv opladning, at der mellem accelerationsstrækningen V og lagerelektroden G1 ligger et potential, som accelererer disse elektroner. Som det fremgår af 1 eller 4 i fig. 2 og 1 i fig. 3, indvirker lagerelektroden G1 ved udførelsen ifølge opfindelsen efter programmeringen og navnlig ved læsning af lagerfelteffekttransistorens tilstand som følge af sin negative ladning gennem influens på dræn-kildestrækningen K på en måde, som hæmmer dræn-kildestrømmen i stedet for at fremme den. Som det fremgår af kurverne G1p og G10 i fig. 2 og kurverne G10 og G1n i fig. 3, fører denne hæmning af strømmen til afbrydelse af strømmen, hvis lagerfelteffekttransistoren har en kanal af udtømmingstypen. Kurven G1p i fig. 2 gælder for en lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen med kanal af udtømmingstypen i uprogrammeret tilstand. Som angivet ved 4 i fig. 2 og ved 1 i fig. 3, oplades lagerelektroden G1 ved programmering negativt, hvorved lagerfelteffekttransistoren for eksempel antager samme egenskaber som en felteffekttransistor af berigelsestypen, som også vist ved kurven G10 i fig. 2, eller endda de egenskaber, der gælder for en hidtil ikke kendt felteffekttransistor med en såkaldt spærretype-kanal, som angivet ved kurven G1n i fig. 3. Ved denne spærretype-egenskab er kanalen K ved lagerelektrodens programmering styret langt ind i sin fuldstændigt spærende tilstand, således at lagerfelteffekttransistoren kun kan styres i ledende tilstand ved hjælp af en styreelektrodespænding, som er større end tærskelværdien Up.

Hvis lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen allerede i uprogrammeret tilstand er af berigelsestypen og altså har en kanal af berigelsestypen, som vist ved kurven G10 i fig. 2, vil denne lagerfelteffekttransistor ved programmeringen ligeledes antage de ved kurven G1n i fig. 2 angivne spærretype-egenskaber.

En lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen med spærretype-egenskaber i

programmeret tilstand udmærker sig således ved, at kanalen i programmeret tilstand vil spærre selv i tilfælde af, at lagerelektroden G1, f.eks. som følge af ufuldstændig isolering, med tiden aflades noget og endog selv om der på den udefra styrbare styreelektrode G2 påtrykkes styrespændinger U-G2, som ligger under en forholdsvis høj spændingstærskelværdi som angivet ved U_p . Sådanne spærretype-felteffekttransistorer har ikke hidtil været kendt, og lige så usædvanlig er den måde, som lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen forholder sig på i denne spærretype-tilstand. Da enhver lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen uafhængigt af opbygningen af dens kanal ved programmeringen kan styres langt ind i sin spærrende tilstand, således at den efter programmeringen altid har spærretype-egenskaber, kan alle udformninger af felteffekttransistoren ifølge opfindelsen drives således, at efterhånden forekommende, af ufuldstændigheder i isolationen betingede afladninger af lagerelektroden G1 og eventuelle restladninger i isolatoren I_s i almindelighed ikke vil indvirke forstyrrende på amplituden af de ved læsning af lagerfelteffekttransistoren optrædende signaler. Lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen er således særdeles ufølsom over for forstyrrelser, når den ved programmeringen er bragt langt ind i sit spærrende område, hvilket er muliggjort gennem de ved opfindelsen foreskrevne foranstaltninger.

Som det ses i fig. 4, kan et antal lagerfelteffekttransistorer ifølge opfindelsen anbringes i en matrix, som for hver lagercelle kun har en enkelt lagerfelteffekttransistor. Under læsningen kan alle programmerede og ikke-programmerede lagerfelteffekttransistorer ved hjælp af passende driftsspændinger styres til den ikke-ledende tilstand. En undtagelse herfra udgør den til læsning udvalgte, programmerede lagerfelteffekttransistor, ved hvis lagerelektrode der over den pågældende rækkestyleledning X er påtrykt et læsepotential, som ikke overstiger den i fig. 2 og 3 angivne tærskelværdi U_p , hvilket potential styrer denne transistors kanal i ledende tilstand. Ved læsning skal denne lagerfelteffekttransistor i programmeret tilstand være ledende og i programmeret tilstand være spærret. Hvis lagerfelteffekttransistoren allerede i uprogrammeret tilstand er af berigelsestypen, idet den har en kanal af denne type, er det hertil tilstrækkeligt at påtrykke blot et lavt positivt læsepotential på rækkestyleledningen X. Ved lagerfelteffekttransistorer med kanal af udtømmningstypen er det, som angivet i fig. 3, som læsepotential tilstrækkeligt at benytte jordpotential, således at en matrix med sådanne lagerfelteffekttransistorer kan drives særligt nemt. Ved læsning afgives altid over eller E/SO, dræn-kildestrækningen i den pågældende udvalgte lagerfelteffekttransistor og søjlekoblere som vist ved T5 eller T6 et til lagerfelteffekttransistorens lagertilstand svarende signal til en udgangsforstærker LV.

Denne matrix har således en særlig enkel opbygning og en særlig enkel driftsmåde. Også programmeringen af lagerfelteffekttransistorerne i matrixen foregår på enkel måde. På den pågældende udvalgte lagerfelteffekttransistors styreelektrode

påtrykkes et tilstrækkeligt højt positivt potential til frembringelse af accelerationsspændingen mellem lagerelektroden og accelerationsstrækningen V , og over den tilhørende søjlestyreledning Y påtrykkes f.eks. over en af søjlekoblerne $T5$ eller $T6$ en kanalspænding, og gennem denne udvalgte lagerfelteffekttransistors dræn-kildestrækning, i den viste matrix fra koblingspunktet So , dvs. enten fra Ru eller Su , går der til den pågældende søjlestyreledning Y og videre til programmeringskanalspændingskilden U_s en strøm. Ved hjælp af denne strøm sker der i den udvalgte felteffekttransistors kanal en opvarmning af elektroner, som ved hjælp af kanalinjektion oplader den tilhørende lagerelektrode negativt. Også den først senere beskrevne udformning af en lagerfelteffekttransistor med spærretypekanal allerede i uprogrammeret tilstand er egnet til anbringelse i en sådan matrix, hvorved denne på gunstig vis kan drives på lignende måde, idet dog læsepotentialt på række-styreledningen X må være tilsvarende højere, hvorved små positive forstyrrelsesspændinger på række-styreledningen X uskadeliggøres. De særlige fordele ved denne lagerfelteffekttransistor med spærretypekanal forklares nærmere i det følgende.

Hvis lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen er ledende i uprogrammeret tilstand, det være sig godt ledende eller næsten ikke-ledende, og altså i denne tilstand har en kanal af udtømmingstypen, er det tilstrækkeligt, hvis lagerfelteffekttransistoren alene er udstyret med lagerelektroden $G1$, men ikke derudover med styreelektroden $G2$, idet den spærrende eller ledende tilstand af lagerfelteffekttransistoren éntydigt kan være knyttet til en af de to programmeringstilstande. Selv når der efter en sletning, som angivet ved 2 i fig. 3 for $U-G2 = 0$ og ved 3 i fig. 2 for $U-G2 = 0$ for eksempel på lagerelektroden eller i isolatoren forekommer restladninger, som indvirker forstyrrende på kanalen, således som det er antydnet ved en forstyrrende forskydning R i fig. 2, er en éntydig tilknytning mulig, fordi lagerelektroden ved programmeringen også i dette tilfælde, som vist ved kurven G_{ln} i fig. 3 for værdien $U-G2 = 0$, kan styres langt ind i det fuldstændigt spærrende område for lagerfelteffekttransistoren og dermed altså udvise spærretype-egenskaber i programmeret tilstand. Matrixer med sådanne lagerfelteffekttransistorer udstyres fortrinsvis med lagerceller, der ud over et lager af samme art som de celler, der er vist i fig. 21 på side 528 i tidsskriftet Solid State Electronics, nr. 17, 1974, også indeholder en yderligere styrbar felteffekttransistor. Af side 517-529 i det nævnte tidsskrift fremgår, navnlig af fig. 3 (b) og fig. 5 med tilhørende beskrivelse, at overlappningen mellem drænområdet og lagerelektroden på den ene side og mellem kildeområdet og lagerelektroden på den anden side har indflydelse på opladningen af lagerelektroden med opvarmede ladninger. Ved en udformning i overensstemmelse med opfindelsen er der på tilsvarende måde sørget for, at kapaciteten mellem drænområdet og lagerelektroden gennem en overlapping af en passende størrelse mellem disse to dele af lagerfelteffekttransistoren er meget større end kapaciteten mellem kildeområdet og lagerelektroden. Herigennem

påvirkes lagerelektroden kraftigere af drænpotentialet end af kildepotentialet. Da kildeområdet normalt er negativt i forhold til drænområdet, vil lagerelektroden ved denne udformning under drift fra drænområdet kapacitivt få tilført et positivt potential. Ved hjælp af denne overlapning understøttes således kanalinjektionen, idet der på lagerelektroden G1 påtrykkes en positiv spænding, som tiltrækker de opvarmede elektroner.

Samme virkning som en overlapning mellem drænområdet og lagerelektroden har lagerelektroden ved en yderligere udførelsesform for opfindelsen, hvor der forefindes en styreelektrode, som er umiddelbart ledende forbundet med drænområdet. Denne styreelektrode har en tilsvarende virkning som den før beskrevne overlapning mellem drænområdet og lagerelektroden, men i langt kraftigere grad. Overfladen af overlapningen mellem drænområdet og lagerelektroden er her nemlig betydeligt større end ved den ovenfor beskrevne udførelse, nemlig omtrent lige så stor som den af styreelektroden dækkede overflade af lagerelektroden. Ved denne udførelsesform sker der som følge af den særligt kraftige kapacitive kobling mellem drænområdet og lagerelektroden en særlig kraftig tilførsel af positivt potential til lagerelektroden ved læsning og navnlig ved programmering. Ved denne udførelsesform er accelerationsspændingen mellem den i fig. 1 viste accelerationsstrækning V og lagerelektroden G1 særligt stor, således at opladningen af lagerelektroden G1 med opvarmede elektroner bliver tilsvarende kraftig.

Ved en yderligere udførelsesform for opfindelsen er styreelektroden G2 ikke forbundet med drænområdet. Ved programmeringen tilføres der styreelektroden et endnu mere positivt potential end drænområdet, således at lagerelektroden i dette tilfælde som følge af den kraftige kapacitive kobling mellem styreelektroden og lagerelektroden får tilført en ganske særligt stor accelerationsspænding for de opvarmede elektroner.

Ved en udførelsesform for opfindelsen benyttes en kanal K, der er så kort som mulig, f.eks. 1-3 μ lang. Under alle omstændigheder er det gunstigt at have en kanallængde, der er mindre end 10 μ . Jo kortere kanalen er, des mindre bliver nemlig den til programmeringen nødvendige totalspænding mellem drænområdet og kildeområdet. Hvis denne totalspænding overskrider en kritisk værdi, dvs. kanallængden overskrider en tilsvarende kritisk værdi, vil pn-overgangen mellem drænområdet og substratet på grund af indvirkningen af de i lagerelektroden G1 oplagrede elektroner utilsigtet let blive bragt i spærrende tilstand, således at opvarmede huller, som ved lavineeffekten frembringes i denne pn-overgang, trænger frem til lagerelektroden G1 og kan aflade denne. Denne uønskede afladning af lagerelektroden optræder ved en for lang kanal, navnlig fordi den programmerede lagerelektrode G1 ved en sådan lang kanal ofte oplades til et mere negativt potential end drænområdet, hvorved kanalen K afbrydes ved pn-overgangen mellem drænområdet og substratet. En tilstrækkelig høj negativ opladning af lagerelektroden kan imid-

lertid, navnlig ved afladning ved hjælp af gennem lavineeffekt frembragte huller ved en meget lang kanal, kun opnås med vanskelighed, i hvert fald hvis man ikke vil gøre styrespændingerne på styreelektroden G2 ved programmering usædvanligt høje.

Den ved opfindelsen foreslåede udformning med kort kanal har derfor som tidligere forklaret navnlig den fordel, at den nemt kan drives med forholdsvis små driftsspændinger mellem drænområdet og kildeområdet og med forholdsvis små styrespændinger på styreelektroden G2. I øvrigt har det vist sig, at det i fig. 1 viste substrat HT for lagerfelteffekttransistoren så vidt muligt ikke må være for lavohmsk, men fortrinsvis skal have en specifik modstand, der ligger betydeligt over 1 ohm.cm, f.eks. 3-10 ohm.cm. Jo højere den specifikke modstand vælges, des lavere bliver de forstyrrende kapaciteter navnlig mellem drænområdet og substratet på den ene side og kildeområdet og substratet på den anden side. Det har vist sig, at en høj specifik modstand i substratet HT kun har en ringe, om overhovedet nogen hæmmende virkning på kanalinjektionen.

I fig. 6 er vist en udførelsesform for lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen, hvor der allerede i uprogrammeret tilstand foreligger spærretype-egenskaber. I overfladen af det på sædvanlig måde p-doterede substrat HT er der i kanalområdet K mellem drænområdet og kildeområdet forud for fremstillingen af drænområdet og kildeområdet f.eks. ved ion-implantation frembragt et p+-doteret lag, i hvilket kanalen K dannes i felteffekttransistorens ledende tilstand. Som følge af p+-doteringen i dette lag i felteffekttransistorens kanalområde har kanalen K spærretype-egenskaber. Allerede i uprogrammeret tilstand for lagerselektroden G1 må der nemlig til styreelektroden G2 føres et forholdsvis højt positivt potential, som overskrider en positiv tærskelværdi, hvorved der fuldstændigt kompenseres for de som følge af p+-doteringen i kanalen K opsamlede huller. Først efter denne kompensation kan der gennem influens opsamles frie negative ladninger i det p+-doterede kanalområde K. Ved overskridelse af den nævnte tærskelværdi bliver n-kanalen K mellem de n-doterede dræn- og kildeområder ledende. Denne lagerfelteffekttransistor er således allerede i uprogrammeret tilstand særdeles kraftigt spærrende, idet der i kanalområdet K er samlet ukompenserede, ved p+-doteringen frembragte huller, således at lagerfelteffekttransistoren allerede i uprogrammeret tilstand er styret langt ind i sit spærreområde for $U_{G2}=0$. Ved programmering af denne lagerfelteffekttransistor i overensstemmelse med opfindelsen styres spærretype-kanalen K på usædvanlig måde endnu kraftigere ind i spærretilstanden. I fig. 5 svarer kurven G10 til spærretype-egenskaben for denne, i fig. 6 viste lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen før programmeringen. Ved programmeringen antager denne lagerfelteffekttransistor den til kurven G1n svarende, endnu mere udprægede spærretype-egenskab. For efter programmeringen at kunne styre denne udførelsesform for lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen i ledende tilstand må der til styreelektroden G2 i overensstemmelse med kurven G1n føres

en ganske særlig høj positiv spænding, som kompenserer såvel for virkningen af de i lagerelektroden G1 oplagrede, negative ladninger som for virkningen af de på grund af p⁺-doteringen i kanalen K opsamlede huller.

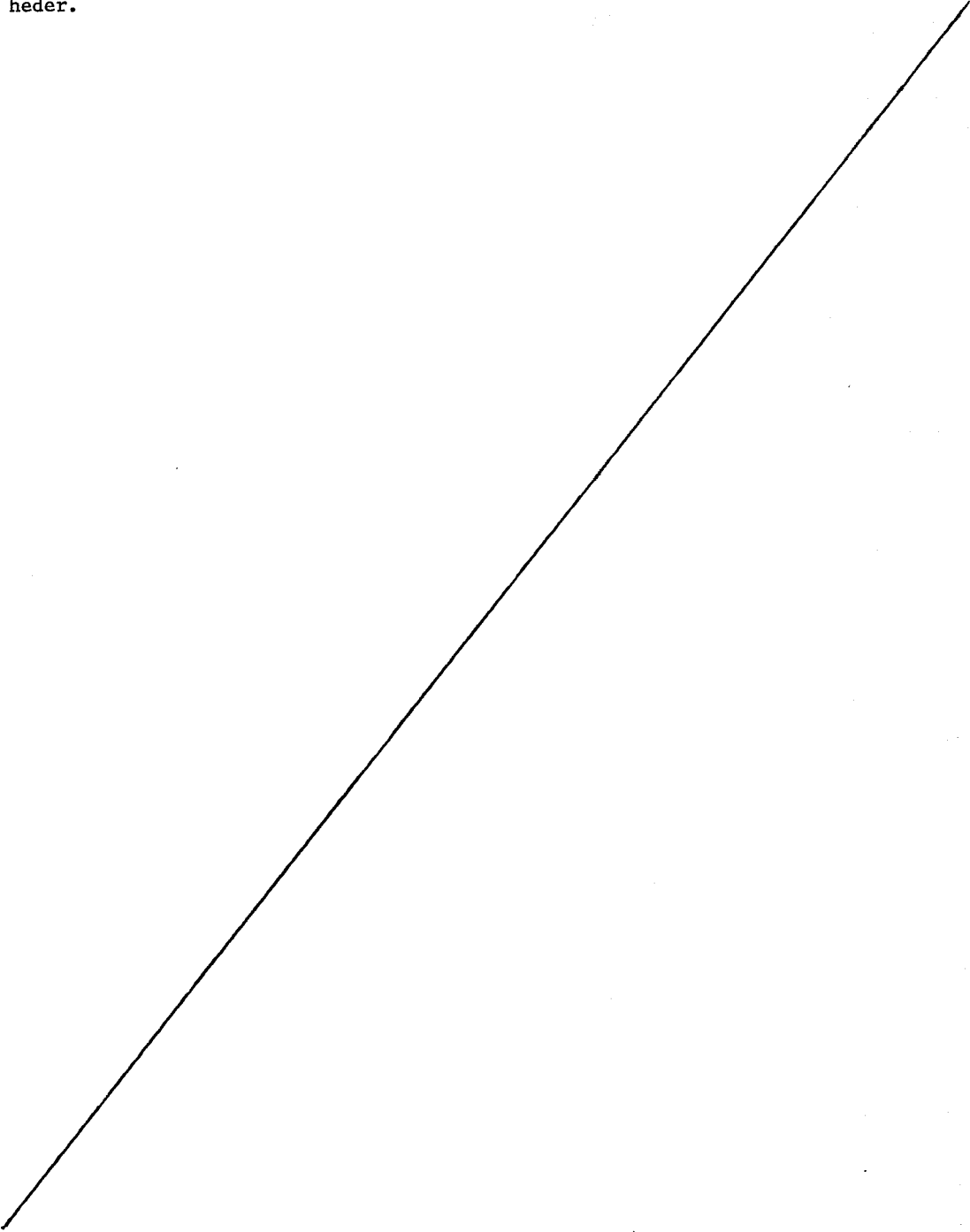
Til læsning af denne sidstnævnte udførelsesform for lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen med spærretype-kanal i uprogrammeret tilstand kan der til styreelektroden G2 føres et så kraftigt positivt, mellem kurverne G10 og G1n liggende potential, at dræn-kildestrækningen bliver pålideligt ledende, såfremt lagerfelteffekttransistoren svarende til kurven G10 er uprogrammeret, medens dræn-kildestrækningen K på den anden side spærres pålideligt, såfremt lagerfelteffekttransistoren i overensstemmelse med kurven G1n er programmeret.

Ved den sidstnævnte udførelsesform er det en fordel, at der såvel til programmeringen som til læsningen benyttes forholdsvis høje positive spændinger, således at overlejlrede forstyrrelsesspændinger og uønskede restladninger, navnlig i isolatoren Is, ikke fremkalder forstyrrelser ved læsningen eller programmeringen. Denne udførelsesform er således specielt forstyrrelsessikker, navnlig når der ved hyppige afladninger og nyprogrammeringer af lagerelektroden G1 indtræder visse forskydninger navnlig af kurven G10, som vist ved R i fig. 5. Som allerede nævnt er denne lagerfelteffekttransistor med spærretype-kanal på fordelagtig måde egnet til opbygning af en matrix svarende til fig. 4, idet også de ikke-programmerede lagerfelteffekttransistorer som følge af den store forstyrrelsessikkerhed efter hyppig sletning og nyprogrammering i den programmerede og uprogrammerede tilstand navnlig for $U-G2=0$ alle er pålideligt ikke-ledende. De fra matrixen udlæste signaler bliver tilsvarende entydige og pålidelige. Derudover bliver der ved en således opbygget matrix en tilsvarende lav tabeffekt, fordi samtlige lagerfelteffekttransistorer som følge af forstyrrelsessikkerheden normalt spærres pålideligt både i programmeret og i uprogrammeret tilstand for $U-G2=0$ trods hyppig sletning og nyprogrammering.

Lagerfelteffekttransistorer med isoleret svævende lagerelektrode og med en spærretype-kanal i uprogrammeret tilstand har i sig selv ikke hidtil været kendt. Ydermere har heller ikke sædvanlige felteffekttransistorer, som ikke har nogen lagerelektrode G1, hidtil været kendt med en spærretype-kanal. Disse udførelsesformer har derfor en selvstændig betydning, som går ud over rammerne af den i hovedkravet angivne opfindelse, hvorfor der begæres selvstændig beskyttelse for disse udførelsesformer. Som allerede nævnt kan udformningerne ifølge opfindelsen også slettes igen. Lagerelektroden G1 kan nemlig aflades igen ved hjælp af lavine-effekten. Til dette formål påtrykkes der over den spærrende pn-overgang mellem substratet og drænområdet en spænding, som belaster denne overgang til gennembrud. Samtidigt skal der fortrinsvis påtrykkes en negativ spænding eller jordpotential på styreelektroden G2. De ved hjælp af lavine-effekten frembragte ladninger aflader herved lagerelektroden G1. Ved hjælp af tilsvarende, kompenserende styre-

spændinger på styreelektroden G2 kan også opnås, at kanalen efter sletningen af lagerelektroden til trods for forstyrrende restladninger eller tilsvarende forstyrrelser, som er angivet ved R i fig. 2 og 5, med stor pålidelighed antager de for den ikke programmerede tilstand tilstræbte egenskaber, og nærmere bestemt både i tilfælde af, at lagerfelteffekttransistoren i uprogrammeret tilstand har en spærre-type-kanal, en berigelsestype-kanal og en udtømmningstype-kanal.

I det følgende omtales yderligere enkeltheder ved de elektriske slettemuligheder.



Inden for den kendte teknik er afladningen af en opladet, dvs. programmeret lagerelektrode i kendte lagerfelteffekttransistorer i almindelighed angivet at være bevirket af optiske midler. Desuden er beskrevet en afladning, der bevirkes af elektriske midler, nemlig enten lavineeffekten eller en speciel form for kanalinjektion, altså ved hjælp af kompenserende ladninger, der enten emitteres fra den til gennembrud belastede pn-overgang mellem kanal og dræn- eller kildeområde ved lavineeffekten eller f.eks. fra yderst ledningsfattige områder inden for den næsten til spærret tilstand styrede kanal ved kanalinjektion, jfr. f.eks. IEEE J. Sol. Circ. SC7, nr. 5, oktober 1972, side 370, fig. 1 og 2 med tilhørende beskrivelse. Disse emitterede ledninger trænger ved disse to kendte afladningsformer gennem isolatoren frem i retningen mod lagerelektroden.

Ved anvendelsen af lavineeffekten opstår der imidlertid ubehageligt høje energitab, nemlig i form af varmetab i den gennembrudte pn-overgang, således at slette-virkningsgraden bliver ringe. Den elektriske sletning kan kun ske langsomt. Noget lignende gælder ved anvendelse af kanalinjektion til sletningen. Ved disse to kendte afladningsformer optræder der således høje tab i dræn-kildestrækningen. På grund af dette høje varmetab i denne hovedstrækning vanskeliggøres, for ikke at sige umuliggøres, navnlig en samtidig sletning af flere eller samtlige programmerede lagerfelteffekttransistorer i et lager, da der herved kan forekomme driftsforstyrrelser og endog ødelæggelser af sådanne lagerfelteffekttransistorer.

Desuden findes der to yderligere, i og for sig kendte elektriske afladningsmuligheder for programmerede lagerfelteffekttransistorer.

I trykskriftet J. Appl. Phys. 40 (1969) 278-283 er Fowler-Nordheim-tunneleffekten beskrevet. Ifølge denne kander gennem visse isolatorer, f.eks. SiO_2 , trænge elektriske ladninger, navnlig elektroner, idet der i hvert fald ved lagtykkelser fra nogle hundrede ångstrøm op til 1500 Å åbenbart forekommer en lineær afhængighed mellem SiO_2 -lagtykkelsen og den nødvendige drivspænding. Drivspændingen kan være en jævnspænding, således at lagerelektroden både kan udgøres af et metallag og af et halvlederlag, fortrinsvis af polykrystallinsk silicium.

I trykskriftet Proc. 4th Conf. Sol. St. Dev. Tokio 1972, suppl. J. Japan Soc. Appl. Phys. 42 (1973), side 163, venstre spalte, næstsidste og sidste afsnit er specielt angivet anvendelsen af denne effekt til sletning af lagerelektroder i p-kanal-lagerfelteffekttransistorer. Sandsynligvis opnås der her ganske vist kun en afladning ved hjælp af lavineeffekten fra en spærret pn-overgang eller måske også ved hjælp af den i det følgende beskrevne elektrodeoverfladeeffekt, dvs. ved hjælp af en særlig opvarmning af ladninger i selve lagerelektroden hidrørende fra en slettespændingsimpuls. Som drivspændinger anbefales nemlig i dette trykskrift impulsformede slettespændinger med tilsvarende høje spændingsværdier. I sig selv kan afladningen ved udnyttelse af Fowler-Nordheim-tunneleffekten imidlertid opnås allerede ved hjælp af jævnspænding mellem lagerelektroden på den ene

side og kanalen eller kilde- eller drænområdet på den anden side, altså mellem lagerelektroden og hovedstrækningen, og tilførslen af jævnspænding til sletning af lagerelektroden har i sig selv den fordel, at den er særlig let gennemførlig. Denne fordelagtige anvendelse af jævnspænding som slettespænding til programmerede lagerfelteffekttransistorer er ikke beskrevet i det nævnte trykskrift, som i stedet angiver en for denne tunneleffekt utypisk anvendelse af slettespændingsimpulser, hvilket tyder på anvendelse af en anden afladningseffekt.

Ny er også erkendelsen af, at der for afladningen af lagerelektroden i programmerede lagerfelteffekttransistorer ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten består en særegenhed i, at der her strømmer ladninger i retningen fra lagerelektroden gennem isolatoren til kanalen eller dræn eller kilde-området, hvor der på selve denne bortstrømmende ladningsstrøm af den første polaritet er overvejret en i modsat retning gående strøm af ladninger af den modsatte, altså den anden polaritet, hvilke ladninger udgår fra kilde- eller drænområdet eller fra kanalen og gennem isolatoren trænger frem til lagerelektroden. Særegenheden består altså i, at der i modsætning til de to tidligere beskrevne, kendte elektriske afladningsformer ikke kun trænger strømme af ladninger gennem isolatoren i retning mod lagerelektroden for at kompensere for de tidligere i lagerelektroden oplagrede ladninger, men også frem for alt trænger strømme af de hidtil i lagerelektroden opladede ladninger i retning bort fra lagerelektroden gennem isolatoren.

Den allerede nævnte, her som elektrodeoverfladeeffekten omtalte, afladningsform kendes derudover fra trykskriftet J. Electrochem. Soc. Sol. St. Science and Techn. 119 (1972) side 597 til 603 og 11. Annual Rel. Phys. 1973, side 163 til 169. Der er der tale om lagerelektroder af halvledermateriale, navnlig af polykrystallinsk silicium, som også kan være helt eller delvis p-doteret. Afladningen sker her ikke ved hjælp af jævnspændinger, men ved hjælp af slettespændingsimpulser. Disse impulser påtrykkes mellem på den ene side styreelektroden og på den anden side kilde- eller drænområdet eller kanalen, hvorved accelererede ladninger af tilsvarende polaritet, især elektroner, kan strømme i retning fra lagerelektroden gennem isolatoren til hovedstrækningen. Ved bortstrømningen af elektronerne kan der således ske elektrisk afladning af en i forvejen opladet, programmeret lagerelektrode. I almindelighed kræves der flere sådanne slettespændingsimpulser, dvs. en slettespændingsimpulsfølge, til fuldstændig sletning af den oprindeligt programmerede lagerfelteffekttransistor, idet der ved hver slettespændingsimpuls normalt kun bortstrømmer en lille del af den oplagrede ladning.

Ansøgernes undersøgelser af lagerfelteffekttransistorer med lagerelektrode og styreelektrode har vist, at der især under forflanken for den tilførte slettespændingsimpuls med tilsvarende polaritet, hvilken forflanke må vælges stejl, i lagerelektroden, som til dette formål skal vælges tilstrækkeligt tyk,

f.eks. 10000 Å, optræder en adskillelse af de der tilstedeværende, frit bevægelige negative og positive ladninger. Herved strømmer de ved p-dotering særligt talrige, positive huller til den fra kanalen bortvendende, altså mod styreelektroden vendende lagerelektrodeoverflade, og de negative elektroner til den anden, overfor liggende, mod kanalen vendende lagerelektrodeoverflade. Denne meget hurtigt forekommende adskillelse af ladningerne kompenserer først kun ufuldkomment for den høje feltstyrke inden for lagerelektrode-halvlederlaget, og navnlig ved den mod kanalen vendende lagerelektrodeoverflade, hvor der med hensyn til huller opstår en udtømningszone. Den på dette sted ukompenserede feltstyrke kan ved tilstrækkelig amplitude af slettespændingsimpulserne endnu være så kraftig, at frie elektroner, som er til stede ved denne overflade, accelereres så kraftigt i retning bort fra denne overflade gennem isolatoren til hovedstrækningen, altså til kanalen eller dræn- eller kildeområdet, at de forlader lagerelektroden og kan trænge igennem isolatoren. Da den til bortstrømningen nødvendige udtrædelsesenergi for elektroner er betydelig mindre end udtrædelsesenergien for huller, kan elektroner lettere udtræde fra lagerelektroden end huller. Derfor egner denne elektrodeoverflade-effekt sig fortrinsvis til afladning af hidtil negativt opladede lagerelektroder. Allerede under slettespændingsimpulsen, f.eks. kort efter forflanken af denne impuls, bryder imidlertid den hidtil ukompenserede feltstyrke i lagerelektroden i reglen automatisk sammen, åbenbart fordi der i lagerelektroden snart opstår tilstrækkelige yderligere nye frie ladninger, som kompenserer mere eller mindre for feltstyrken. På grund af det hurtige sammenbrud af feltstyrken optræder der således i almindelighed kun i området for slettespændingsimpulsens forflanke en kortvarig bortstrømning af dels de oplagrede ladninger og nærmere bestemt på samme måde som ved Fowler-Nordheim-tunneleffekten i retning fra lagerelektroden til kanalen eller dræn- eller kildeområdet.

Ved en i tysk offentliggørelsesskrift nr. 2.356.275 beskrevet lagerfelt-effekttransistor er åbenbart anvendt den ene eller begge de nævnte yderligere effekter, dvs. elektrodeoverfladeeffekten og måske også Fowler-Nordheim-tunneleffekten til sletning af opladede lagerelektroder i programmerede lagerfelteffekttransistorer ved hjælp af fra elektroden bortstrømmende ladninger, men de to effekter er her i almindelighed overlejret hinanden, og trykskriftet indeholder ingen beskrivelse af de to effekter, og der skelnes heller ikke mellem dem. Heller ikke om størrelsen af tabsvarmen ved en sådan sletning er der anført noget i dette trykskrift.

Opgaven består i at tilvejebringe en elektrisk repetitivt programmerbar og igen elektrisk sletbar lagerfelteffekttransistor og i forbindelse hermed gøre de til elektrisk aktiveret sletning af programmerede lagerfelteffekttransistorer nødvendige til felteffekttransistorelektroderne førte tabseffekter så små som muligt. Selv ved anbringelse af flere lagerfelteffekttransistorer ifølge opfin-

delsen i et integreret lager, og ved samtidig sletning af et flertal af eller alle programmerede lagerfelteffekttransistorer i dette lager, vil energitabene og dermed den skadelige tabsvarme og det tilladelige minimumstidsforbrug til sletningen være særdeles ringe. Det hertil nødvendige koblings- og fremstillingsmæssige opbud skal holdes så lavt som muligt. Ansøgernes undersøgelser har vist, at hertil egner sig navnlig Fowler-Nordheim-tunneleffekten og elektrodeoverfladeeffekten til forskel fra lavineeffekten, som kræver høje tabseffekter, og kanalinjektionen, som ligeledes kræver ikke ringe tabseffekter.

Bortset fra særlige resultater af den videnskabelige undersøgelse af afladningerne beror opfindelsen på erkendelsen af, at der ved afladningen ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten og/eller elektrodeoverfladeeffekten i det væsentlige kun frembringes varmetab af de forholdsvis små strømme, som trænger igennem isolatoren, såfremt substratet i den pågældende lagerfelteffekttransistor er svævende; hvis denne lagerfelteffekttransistor er en del af et stort integreret lager (lagerchip), hvorpå der yderligere er anbragt randelektronik til styring af lageret, skal der ifølge opfindelsen i hovedstrækningen, f.eks. fra kildeområdet til substratet kun gå små strømme, som kun frembringer en meget ringe yderligere tabsvarme i hovedstrækningen. Tilsammen frembringer disse små tilladelige strømme tilsvarende lille tabsvarme. Ved elektrisk sletning ved hjælp af lavineeffekten eller kanalinjektion frembringes der ud over den i isolatoren frembragte tabsvarme også i hovedstrækningen en sammenligningsvis overordentlig høj tabsvarme. Ved disse to sidstnævnte effekter må der nemlig udover de strømme, som aflader lagerelektroden, frembringes sammenligningsvis meget høje strømme inden for hovedstrækningen for at opnå afladning af lagerelektroden; der skal nemlig her påtrykkes høje, kanalstrømme forårsagende slettespændinger, navnlig mellem dræn- og kildeområdet eller mellem på den ene side dræn- eller kildeområdet og på den anden side kanalen, hvorved der i det mindste i dele af hovedstrækningen går strømme, som er meget større end de, der forekommer ved opfindelsen.

Ved denne udformning påtrykkes der for at opnå sletningen i det væsentlige kun en slettespænding mellem på den ene side styreelektroden og dermed også lagerelektroden og på den anden side kanalen eller dræn- eller kildeområdet, som umiddelbart bevirker bortstrømning af oplagrede ladninger. Definitionen af "drænområde" er her til stadighed knyttet til polariteten af spændingen over hovedstrækningen under den elektriske programmering ved hjælp af lavineeffekt eller kanalinjektion, men ikke til polariteten af spændingen over hovedstrækningen under sletningen. Der gøres altså brug af den først med ansøgernes videnskabelige indsats opnåede erkendelse af fordelene ved den ringe tabsvarme, der så at sige er en indbygget funktion i lagerfelteffekttransistorer. Ud over den repeterbare elektriske programmering og elektriske sletning af lagerfelteffekttransistorer giver den særlige udformning også mulighed for et formindsket forbrug af tid

til den elektriske sletning af lagerfelteffekttransistoren, således at der som følge af den ringe tabsvarme f.eks. inden for millisekunder eller sekunder og med meget lavt energiforbrug kan opnås samtidig elektrisk sletning af flere eller endog alle i et lager indgående lagerfelteffekttransistorer ifølge opfindelsen. Til den kendte sletning ved hjælp af optiske midler kræves derimod adskillige minutter. Der findes to forskellige løsninger, nemlig anvendelse af Fowler-Nordheim-tunneleffekten og elektrodeoverfladeeffekten, som også kan anvendes samtidigt overlejret hinanden. Begge løsninger er ejendommelige ved, at den opladede, dvs. programmerede lagerelektrode med elektriske midler, navnlig en mellem styreelektroden og hovedstrækningen tilført slettespænding, aflades ved hjælp af en effekt, der foranlediger i lagerelektroden oplagrede ladninger, som af slettespændingen accelereres i retning fra lagerelektroden ind i isolatoren mellem lagerelektrode og hovedstrækning, til at strømme bort gennem isolatoren til hovedstrækningen, dvs. til kanalen eller til drænområdet eller kildeområdet, idet der hertil påtrykkes slettespænding af passende polaritet mellem styreelektroden og det område af hovedstrækningen, hvortil afladningen skal gennemføres. Herved kan i det mindste potentialet på drænelektroden eller på kildelektroden, hvortil der ikke strømmer nogen ladninger, være svævende under sletningen. Dette forklares nærmere under henvisning til fig. 8 og 9.

Den i fig. 8 viste lagerfelteffekttransistor er f.eks. programmerbar ved hjælp af kanalinjektion. For at muliggøre kanalinjektionen kan der, specielt hvor som helst i kanalen mellem dræn- og kildeområdet, fortrinsvis i nærheden af kildeområdet, være anbragt en i kanalens længderetning virkende accelerationsstrækning, som er dannet på dette sted af en betydelig inhomogenitet i kanalens opbygning, f.eks. ved en indsnævring af kanalen eller ved en fortykkelse af isolatoren over dette sted i kanalen. Den i fig. 8 viste strøm I_k , som oplader lagerelektroden G_1 , kan således være frembragt ved kanalinjektion og nærmere bestemt ved hjælp af en i fig. 8 antydnet accelerationsstrækning ved stedet V i kanalen.

Denne strøm er, som det normalt er tilfældet ved kanalinjektion, en elektronstrøm, således at den isolerede, svævende lagerelektrode ved programmeringen oplagres negativt. Isolatoren I_s med tykkelsen x mellem lagerelektroden G_1 og kanalen danner en barriere, som skal overvindes ved den elektriske sletning af denne lagerfelteffekttransistor. Ifølge opfindelsen foreskrives, at afladningen af den opladede, dvs. programmerede lagerelektrode G_1 sker med elektriske midler og nærmere bestemt en mellem styreelektroden G_2 og hovedstrækningen tilført slettespænding, ved udnyttelse af en effekt, som accelererer ladninger mod

hovedstrækningen. Ved denne effekt kan der navnlig være tale om Fowler-Nordheim-tunneleffekten eller elektrodeoverfladeeffekten, hvorved i det mindste dræn- eller kildeområdet er svævende. Effekten bevirker, at de i lagerelektroden G_1 oplagrede ladninger, som af slettespændingen accelereres i retning bort fra lagerelektroden ind i området x i isolatoren, gennem isolatoren x eller I_s , strømmer bort til kanalen K eller til drænområdet D og kildeområdet S . Ved svævende substrat frembringes tabsvarme herved i det væsentlige alene af denne strøm mellem lagerelektrode og hovedstrækning, idet der til sletningen ikke er behov for nogen nævneværdig yderligere tabsvarme forårsaget af strømme langs hovedstrækningen.

Den i fig. 8 viste lagerfelteffekttransistor kan udgøre en enkelt lagercelle i et lager. Som følge af det ringe energitab ved opfindelsen kan der opnås samtidig hurtig sletning af flere eller alle lagerfelteffekttransistorer ifølge opfindelsen i et sådant lager med elektriske midler uden overopvarmning af lageret eller den enkelte felteffekttransistor. Ved den ved opfindelsen foreslåede foranstaltning kan der altså med et særdeles ringe forbrug af tabsvarme og tid foretages samtidig sletning af et endog meget stort antal lagerfelteffekttransistorer i lageret, og endda med et meget lavt energiforbrug. Denne udførelsesform for opfindelsen medfører således en betydelig fordel, nemlig en særlig enkel sletning ved hjælp af den ovennævnte foranstaltning.

Det har vist sig, at det på grund af en hyppigt iagttaget forurening af isolatoren både ved anvendelse af Fowler-Nordheim-tunneleffekten og anvendelse af elektrodeoverfladeeffekten til sletning af lagerelektroden ofte er tilrådeligt at lade de hidtil i lagerelektroden G_1 oplagrede ladninger strømme til det hovedstrækningsområde, f.eks. kildeområdet S , over hvilket der oprindeligt ikke er sket nogen programmering af lagerelektroden. Ved det i fig. 8 viste udførelseseksempel sker programmeringen inden for kanalen, i nærheden af drænområdet D ved hjælp af elektronstrømmen K_e . Afladningen af den ved dette udførelseseksempel med elektroner negativt programmerede lagerelektrode G_1 sker som antydnet i fig. 8 ved afladningsstrømmen K_d , mod kildeområdet S , altså i et område af isolatoren, som ligger langt væk fra området for strømmen K_e . Denne foranstaltning bevirker på en fordelagtig måde, at isolatoren I_s i området x mellem lagerelektroden G_1 og kanalen ved hver ny programmering og afladning af lagerelektroden forurenes mindre stærkt, end hvis programmeringen og sletningen af lagerelektroden altid sker over det samme område i isolatoren I_s . Ved denne foranstaltning, hvor ladningerne ved sletning bringes til at strømme til det hovedstrækningsområde, over hvilket der ikke sker nogen programmering af lagerelektroden, opnås således den fordel, at lagerelektroden og dermed lagerfelteffekttransistoren oftere kan omprogrammeres elektrisk end uden denne foranstaltning.

Ved sletningen er det fordelagtigt at lade elektronerne i lagerelektroden

strømme til kildeområdet S, dvs. at lade drænområdet forblive svævende. Dette har navnlig to yderligere fordele. For det første opnås en særligt stor afstand mellem de to områder i isolatoren Is, over hvilke på den ene side programmeringen, og på den anden side sletningen finder sted, således at risikoen for forurening af isolatoren Is bliver særligt lille. For det andet er det ifølge opfindelsen på grund af den i dette tilfælde sædvanligvis ringe afstand mellem accelerationsstrækningen i kanalen K og drænområdet D også muligt at foretage programmeringen med et særligt lavt energiforbrug.

Bortstrømningen af de hidtil i lagerelektroden G1 oplagrede ladninger sker således ved påtrykning af slettespændinger med en sådan polaritet, at de i lagerelektroden ved programmeringen oplagrede elektroner, accelereres i retning mod hovedstrækningen. Disse slettespændinger kan f.eks. påtrykkes mellem styreelektroden G2 og kildeområdet S af den pågældende lagerfelteffekttransistor, hvorved de i lagerelektroden G1 hidtil oplagrede ladninger strømmer til kildeområdet S. Da dette kildeområde er n-doteret, kan elektronerne strømme bort over dette område. Slettespændingerne kan også påtrykkes mellem styreelektroden G2 og drænområdet D, hvorved de hidtil i lagerelektroden G1 oplagrede ladninger strømmer til drænområdet D. Ved passende påtrykning af slettespændingerne kan det således nemt opnås, at de hidtil i lagerelektroden oplagrede ladninger strømmer til det til enhver tid udvalgte område af hovedstrækningen, som har n-dotering. En fordel ved i overensstemmelse med opfindelsen at lade de oplagrede ladninger strømme til hovedstrækningen i stedet for til styreelektroden G2 består i, at der kan tillades meget lave spændinger mellem de to elektroder G1 og G2, således at der i sammenligning med egenkapaciteten mellem lagerelektroden G1 og kanalen K kan tillades en særlig høj egenkapacitet mellem disse to elektroder. Som angivet i beskrivelsen til tysk patentansøgning P 24 45 091.7 vil en forøgelse af egenkapaciteten mellem elektroderne medføre, at særligt lave styrespændinger vil være tilstrækkelige ved styreelektroden G2 til læsning og programmering og i øvrigt også til sletning mellem styreelektroden G2 og hovedstrækningen, fordi en stigning i potentialet på styreelektroden G2 næsten fuldstændigt vil komme til udtryk som en lagerelektrodepotentialstigning.

Slettespændingen kan f.eks. være en jævnspænding, som påtrykkes mellem på den ene side styreelektroden G2 og på den anden side kanalen K eller drænområdet D eller kildeområdet S. Slettespændingen kan dog også være en følge af impulser, som påtrykkes mellem på den ene side styreelektroden og på den anden side kanalen K eller drænområdet D eller kildeområdet S. Om der påtrykkes en jævnspænding eller en vekselspænding afhænger fortrinsvis af, om der til sletningen overvejende skal anvendes Fowler-Nordheim-tunneleffekten eller elektrodeoverfladeeffekten. Ved anvendelsen af Fowler-Nordheim-tunneleffekten kan anvendes begge spændingsformer, fortrinsvis jævnspændinger, hvorved afladnings-

strømmene under den hele valgte varighed af påtrykningen af slettespændingen går fra lagerelektroden G1 til hovedstrækningen, indtil alle af denne jævnspænding til bortstrømning foranledigede ladninger er strømmet bort fra lagerelektroden G1. Ganske vist er det allerede iagttaget, at afladningen ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten formentlig på grund af samtidig optræden af elektrodeoverfladeeffekten lejlighedsvis vil kunne accelereres gennem anvendelse af impulsfølger med tilsvarende høj amplitude. Derfor kan der ved udnyttelse af denne effekt også ofte med fordel påtrykkes slettespændingsimpulsfølger eller en slettejævnspænding med overlejlrede impulsfølger mellem på den ene side styreelektroden G2 og på den anden side kanalen K efter drænområdet D eller kildeområdet S.

Som beskrevet kan afladningen også i vidt omfang ske ved hjælp af elektrodeoverfladeeffekten, altså ved påtrykning af slettespændingsimpulser med tilstrækkeligt stejle forflanker og tilstrækkelig amplitude ved en impulsfølgefrekvens på f.eks. 100 kHz - 1 MHz og en udnyttelsesfaktor på 1:1 mellem styreelektroden G2 og det område af hovedstrækningen, hvortil de hidtil i lagerelektroden G1 opladede ladninger skal strømme. Lagerelektroden består her f.eks. af polykrystallinsk silicium, som er p-doteret. Ved som antydnet i fig. 8 og allerede tidligere beskrevet at påtrykke sådanne slettespændingsimpulser, adskilles ladningerne i lagerelektroden G1. Denne adskillelse er dog ikke tilstrækkelig til at kompensere fuldstændigt for den gennem slettespændingsimpulsen i lagerelektroden G1 oprindeligt frembragte feltstyrke. Navnlige ved den mod kanalen vendende, med de til programmering oplagrede ladninger berigede elektrodeoverflade, forbliver der en udtømningszone med hensyn til majoritetsladningsbærerne, altså en resterende ukompenseret feltstyrke, med hvilken de hidtil oplagrede elektroner, som skal fjernes fra lagerelektroden, accelereres således i retning mod det pågældende område af hovedstrækningen, at de forlader lagerelektroden G1 og trænger gennem isolatoren Is i området x og kan strømme til det pågældende område af hovedstrækningen. Som følge af det hurtige sammenbrud af den resterende ukompenserede feltstyrke ved lagerelektrodeoverfladen skal der til fuldkommen afladning af lagerelektroden G1 i reglen ikke blot tilføres en slettespændingsimpuls, men en større følge af sådanne slettespændingsimpulser.

I forhold til anvendelsen af elektrodeoverfladeeffekten har anvendelsen af Fowler-Nordheim-tunneleffekten den fordel, at sletningen af den hidtil opladede lagerelektrode på grund af muligheden for anvendelse af slettejævnspænding kan ske i et enkelt forløb. Ved anvendelse af elektrodeoverfladeeffekten vil derimod lavere slettespændinger ofte være tilstrækkelige ved høj stejlhed af forflankerne. Dette er navnlig gunstigt i mange integrerede lagre, idet disses randelektronik ofte kun kan levere forholdsvis lave spændinger til drift af lageret med forholdsvis små omkostninger.

Hvis der skal anvendes jævnspændinger til sletning af den programmerede

lagerfelteffekttransistor, er det ofte fordelagtigt at danne en sådan slette-spænding ved hjælp af et på styreelektroden G2 påtrykt konstant potential, fortrinsvis jordpotential, og et andet på kildeområdet S påtrykt konstant potential. I dette tilfælde kan lagerelektroden G1 med tilnærmelse aflades så meget, at den senere tilnærmelsesvis udviser jordpotential. Ved passende valg af slettespændingens amplitude og/eller varighed kan der gennem en sådan driftsmåde tilnærmelsesvis opnås enten en sådan fuldkommen afladning af lagerelektroden eller en overskydende afladning, der går udover en sådan fuldkommen afladning. I almindelighed bør der efter afladningen være et veldefineret potential på lagerelektroden, f.eks. lig med potentialet på styreelektroden G2, kildeområdet S, drænområdet D og kanalen K, hvis der på styreelektroden G2, kildeområdet S, drænområdet D og i kanalen K altid ligger samme potential. Hvis en alt for stor ladningsmængde strømmer bort fra lagerelektroden G1, frembringes der ikke kun en sådan fuldstændig afladning af lagerelektroden G1, men så at sige en ny programmering af lagerelektroden G1 med et potential af modsat polaritet, hvilket i hvert fald almindeligvis er uønsket. Som følge af, at styreelektroden G2 ved som slette-spænding at påtrykke en jævnspænding med passende amplitude og varighed tilnærmelsesvis udviser jordpotential, kan en sådan overskydende afladning, altså programmering med modsat polaritet, i vidt omfang undgås, idet en lille afvigelse fra den tilsigtede ideale afladning af lagerelektroden ofte virker uskadelig eller kun lidt skadelig.

Ved som slettespænding at påtrykke en jævnspænding med et fra jordpotential stærkt afvigende potential på styreelektroden G2 kan der på den anden side uden vanskeligheder og tilsigtet opnås en anden slutttilstand for afladningen af lagerelektroden G1, hvis en sådan anden afladningstilstand tilsigtes.

Hvorledes den tilsigtede afladningstilstand end er, vil den ved opfindelsen foreslåede anvendelse af Fowler-Nordheim-tunneleffekten under alle omstændigheder være fordelagtig, fordi der ved en forholdsvis lav slettespændingsamplitude kun opstår en forholdsvis ringe tabsvarme. Ved anvendelsen af lavineeffekt eller kanalinjektion til sletning af lagerelektroden G1 vil herimod ud over dette varmetab yderligere frembringes en særlig høj tabsvarme i det mindste i dele af hovedstrækningen af den pågældende lagerfelteffekttransistor.

Det samme gælder for anvendelsen af elektrodeoverfladeeffekten til sletning af lagerelektroden. Også her kan den uprogrammerede tilstand af lagerelektroden G på samme måde defineres forskelligt efter behov. Afhængigt af, hvilket potential der herved føres til styreelektroden G2, og hvorledes stejlegheden af forflanken samt antallet, varigheden og amplituden af slettespændingsimpulserne vælges, opnås der forskellige afladningstilstande for lagerelektroden. Man kan således også ved hjælp af elektrodeoverfladeeffekten opnå en hvilken som helst ønsket afladningstilstand for lagerelektroden G1. Navnlig er det muligt at

frembringe slettespændingen ved hjælp af et til styreelektroden G2 ført konstant potential, især jordpotential, og ved hjælp af f.eks. til kildeområdet førte spændingsimpulser. Den derved dannede slettespændingsimpulsfølge bevirker den ønskede sletning af lagerelektroden og nærmere bestemt ved bortstrømning af de hidtil oplagrede ladninger, i dette tilfælde til kildeområdet S.

Hvis man tilføjer en meget lange varende følge af sådanne slettespændingsimpulser og derved vælger styreelektrodepotentialet tilsvarende lavere, f.eks. identisk med det på jordpotential liggende drænpotential, kan der på grund af det meget høje antal slettespændingsimpulser til sidst opnås en sluttilstand for potentialet på lagerelektroden G, som er forholdsvis let reproducerbar og næsten vilkårligt kan forudbestemmes afhængigt af valget af det samtidigt påtrykte styreelektrodepotential og slettespændingsimpulsamplituden.

For at anvende Fowler-Nordheim-tunneleffekten særlig fordelagtigt er det ofte tilrådeligt at vælge en bestemt optimal isolatortykkelse x , specielt ved n -kanal-lagerfelteffekttransistorer, som programmeres ved kanalinjektion, altså gennem negativ opladning af lagerelektroden.

Denne tykkelse skal ofte overstige en nedre grænseværdi for at undgå forstyrrelser, f.eks. for at den opladede lagerelektrode ikke igen skal aflades delvis gennem den galvaniske forbindelse mellem drænområdet i den pågældende lagerfelteffekttransistor og drænområdet i en anden netop under programmering værende lagerfelteffekttransistor på grund af lavineeffekten. Vælges f.eks. SiO_2 som isolator, er det i det viste eksempel mest fordelagtigt at vælge isolatortykkelsen x større end ca. 400-500 Å.

Fig. 9 anskueliggør den nedre grænseværdi for isolatortykkelsen x . Figuren viser et diagram, hvis abscisse angiver logaritmen til isolatortykkelsen x . Som ordinat er angivet logaritmen til den effektivt virksomme slettespænding U , som skal overskrides under sletning, mellem lagerelektroden G1 og det hovedstrækningsområde, f.eks. S eller D, hvortil elektronerne fra lagerelektroden G skal strømme. Kurven F1 anskueliggør gennem sin hældning på ca. 45° , at der ved denne isolator, i dette tilfælde SiO_2 , for Fowler-Nordheim-tunneleffekten foreligger en tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem isolatortykkelsen x og slettespændingen U . Kurven F1 skæres ved den nedre grænseværdi af kurven F3. Denne kurve opnås f.eks. med $U_D = 15$ V og $U_{G1} = -10$ V for en ikke-udvalgt programmeret celle Z1 i et specielt udførelseseksempel ved programmering af en nabocelle Z2, hvis drænområde er tilsluttet den samme ledning. Så længe F1 ligger under F3, vil cellen Z1 blive delvis slettet ved programmering af cellen Z2. Den optimale isolatortykkelse x er altså større end denne nedre grænseværdi.

Det har vist sig, at isolatortykkelsen x ofte også har en øvre grænseværdi, så at den skal vælges mindre end denne øvre grænseværdi. Isolator

x skal nemlig f.eks. ligge lavere end den øvre grænseværdi, ved hvilken der forekommer et kraftigt lavinegennembrud mellem kildeområdet og substratet, der er påtrykt en forspænding, eller ved hvilken de ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten fra lagerelektroden bortstrømmende elektronmængder K_d ved de til enhver tid valgte værdier for jævnspændingstilførslen er omtrent lige så store som de hulmængder, der på grund af lavineeffekten i den spærrede pn-overgang mellem drænområdet D og kanalen K strømmer til lagerelektroden G_1 . Ved SiO_2 som isolator I_s ligger denne øvre grænseværdi i almindelighed på omkring 1200 Å. Ved denne øvre grænseværdi vil der ved samtidig kraftig opvarmning i hovedstrækningen på grund af lavineeffekten strømme lige så mange huller K_e til den hidtil opladede lagerelektrode G_1 , som der samtidigt på grund af Fowler-Nordheim-tunneleffekten strømmer elektroner K_d bort fra denne lagerelektrode G_1 til hovedstrækningen i lagerfelteffekttransistoren, fortrinsvis til kildeområdet. Gøres isolatortykkelsen x større end denne øvre grænseværdi, vil den ved lavineeffekten frembragte strøm K_e af huller, som fra den pågældende pn-overgang mellem drænområdet og kanalen strømmer til lagerelektroden, ved dette eksempel altid overstige den på grund af Fowler-Nordheim-tunneleffekten fra lagerelektroden G_1 afgående elektronstrøm K_d . I stedet for på den ønskede måde at opnå en afladning K_d af lagerelektroden ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten optræder der her en afladning af den hidtil negativt opladede lagerelektrode G_1 ved hjælp af en kompenserende, ved hjælp af lavineeffekten og under høj tabsvarme frembragt hulstrøm K_e .

Desuden er det almindeligvis tilrådeligt at vælge isolatortykkelsen x så lille som muligt, for at den til sletningen nødvendige slettespændingsamplitude kan holdes så lille som muligt, og f.eks. andrage ca. 40 V, idet så lave spændinger om nødvendigt let kan leveres af den randelektronik, som styrer lagret. Lagtykkelsen skal altså så kun være lidt større end den nedre grænseværdi for denne tykkelse for at muliggøre så lave slettespændinger.

Kurven F_2 , som i overensstemmelse med den sædvanligvis kvadratiske afhængighed for den pågældende funktion har en hældning på ca. 22° i forhold til abscisseaksen angiver afhængigheden af den som ordinat afsatte minimumsværdi for spændingen U mellem lagerelektroden G_1 og drænområdet D af den som abscisse afsatte lagtykkelse x med hensyn til frembringelsen af den ved hjælp af lavineeffekten frembragte hulstrøm K_e . Skæringspunktet for kurverne F_1 og F_2 angiver den øvre grænseværdi for lagtykkelsen x . Over denne værdi vil lavineeffekt-hulstrømmen K_e overstige den tilstræbte afladningsstrøm K_d .

Den optimale isolatortykkelse x ligger altså almindeligvis så langt som muligt under den kritiske øvre grænseværdi for lagtykkelsen x , ved hvilken kurverne F_1 og F_2 skærer hinanden. Ved eksemplet i fig. 9 andrager den optimale lagtykkelse x svarende til de angivne konkrete talværdier ca. 600 Å, fra hvilken

værdi der kan afviges noget både i nedadgående og opadgående retning, uden at optimum forlades mærkbart.

Til sletning af lagerfelteffekttransistorerne ved hjælp af elektrodeoverfladeeffekten er det, som allerede angivet tilrådeligt at opbygge lagerelektroden G1 af en halvleder, som er doteret modsat i forhold til arten af de ladninger, som ved programmeringen er oplagret på elektroden. Da der på lagerelektroden er oplagret negative ladninger, skal lagerelektrodehalvlederen altså være p-doteret.

Ligesom ved anvendelsen af Fowler-Nordheim-tunneleffekten eksisterer der i almindelighed også ved anvendelse af elektrodeoverfladeeffekten en øvre og nedre grænseværdi for lagtykkelsen af isolatoren I_s/x . Kurverne F2 og F3 kan ved et udførelseseksempel have tilnærmelsesvis samme forløb som i fig. 9. Kurven F1 vil ganske vist have en anden form og beliggenhed end i fig. 9. Forløbet af kurven F1 vil nemlig yderligere være afhængigt af støjheden af slettespændingsimpuls-forflanken og af varigheden af de enkelte impulser. Yderligere kræves der for lavere værdier af x højere feltstyrker end for højere værdier af x , således som det fremgår af J. Electrochem Soc. Sol. St. Science and Tecn, 119 (1972) side 598, fig. 3. Ofte afviger såvel de således konstaterede nedre og øvre grænseværdier som den optimale værdi for isolatortykkelsen imidlertid ikke særlig meget fra de for Fowler-Nordheim-tunneleffekten fundne værdier, så at der for en n-kanal-lagerfelteffekttransistor ligeledes vil gælde en optimal værdi for tykkelsen på ca. 600 Å.

Da lagerelektroden G1 er programmeret ved hjælp af elektroner, skal der som antydnet i fig. 9 på styreelektroden G2 påtrykkes et i forhold til kildeområdet S eller andre dele af hovedstrækningen negativt potential for at anvende elektrodeoverfladeeffekten eller Fowler-Nordheim-tunneleffekten.

Som det allerede er nævnt, er tabsvarmen særligt lille, hvis de oplagrede ladninger kan strømme bort til dræn- eller kildeområdet med svævende substrat. Selv når der på substratet er påtrykt en forspænding, f.eks. fra randelektronikken, vil de i hovedstrækningen frembragt tab imidlertid være mindre i forhold til sletning ved hjælp af lavineeffekt eller kanalinjektion, således som det er påvist ved hjælp af den øvre grænseværdi for isolatortykkelsen x .

Ansøgernes undersøgelser har vist, at der ofte i det mindste forbigående på elektronafladningsstrømmen K_d er overlejret en yderligere hulafladningsstrøm $-K_d$ i modsat retning. Denne overlagrede hulstrøm $-K_d$ virker i praksis ligeledes afladende på lagerelektroden G1. Til frembringelse af denne overlejrede hulstrøm kræves ingen kraftig strøm langs hovedstrækningen. Den overlejrede strøm opstår således uden nævneværdig frembringelse af tabsvarme i hovedstrækningen. Derfor er denne overlejrede strøm sjældent nævnt udtrykkeligt i den forudgående beskrivelse, men betragtes som en del af den fra lagerelektroden afgående elektronstrøm K_d og så for at undgå en unødigt kompliceret forklaring af opfindelsen. Beskrivelsen må efter behov kompletteres med hensyn hertil.

I publikationen Proceedings of the 3rd Conference of Solid State Devices Tokyo 1971, udgivet af OYO BUTURI, nr. 41, 1972, side 159, se. er der navnlig i fig. 8 med tilhørende beskrivelse givet en første rapport fra flere forfattere om en lagerfelteffekttransistor med n-kanal. Omtrent samtidigt er fremkommet en anden rapport fra samme forfattere og med lignende indhold i IEEE Journal of Solid State Circuits SC7, nr. 5, oktober 1972, side 369-375. Den i fig. 8 i den første rapport viste felteffekttransistor har en på alle sider af en isolator omgivet, elektrisk svævende lagerelektrode G1. Desuden er den forsynet med en styrbar styreelektrode G2. Lagerelektroden G1 er anbragt således mellem styreelektroden G2 og denne lagerfelteffekttransistors hovedstrækning, at lagerelektroden kun dækker en første, til kildeområdet grænsende del af kanalen i kanalens fulde bredde. Styreelektroden dækker den resterende, med den første del elektrisk serieforbundne del af substratet, som grænser til drænområdet, samt lagerelektroden G1. I nærheden af kildeområdet styres kanalens tilstand såvel af styreelektrodetilstanden som af lagerelektrodetilstanden. I nærheden af drænområdet styres kanalens tilstand imidlertid kun af styreelektrodetilstanden.

Forfatterne forklarer intet sted, hvorfor der her benyttes en asymmetrisk lagerelektrode. På samme og den foregående side i den nævnte første rapport er der imidlertid forklaret noget om driftsmåden for denne lagerfelteffekttransistor, blandt andet ved hjælp af fig. 6 i rapporten, hvorved det dog skal bemærkes, at den angivne fig. 8 - åbenbart på grund af en trykfejl - i teksten er betegnet som fig. 9. I det følgende vil denne figur blive betegnet som fig. 8 svarende til det ved selve figuren angivne figurnummer.

Ifølge den tilhørende beskrivelse skal en opvarmning af elektronerne finde sted i det såkaldte pinch-off-område ved den mod kildeområdet vendende ende af udtømningszonen, hvilket fremgår af de i rapportens fig. 6 viste feltstyrkepile mellem styreelektrode og kanal. Udtømningszonen opstår i de ved drænområdet liggende områder, hvor styreelektrodepotentialet er negativt i forhold til potentialet i de pågældende områder. Langs disse områder ligger således mellem styreelektrode og kanal en bremsespænding for elektronerne i kanalerne, hvorved det forhindres, at disse elektroner på det pågældende sted emitteres fra substratoverfladen og injiceres i styreelektroden. Kun i det nævnte pinch-off-område ligger der ikke nogen bremsespænding, men tværtimod en accelererende spænding, som tillader injektion af de emitterede elektroner i lagerelektroden. Som følge af det hertil nødvendige styreelektrodepotential kan der erfaringsmæssigt ganske vist stadig opnås en forholdsvis hurtig afladning af den tidligere positivt opladede lagerelektrode ved kompensation af de oplagrede huller med injicerede elektroner fra kanalen; imidlertid kan der med de her anvendte slettespændinger ikke opnås en høj negativ opladning af lagerelektroden, hvilket blandt andet fremgår af fig. 5 med tilhørende beskrivelse i de samme forfatteres anden rapport. Den ringe negative "opladning"

af lagerelektroden, som forfatterne tilfældigt har iagttaget, er kun en i et smalt spredningsområde forekommende og på grund af sin ringe amplitude til programmering uanvendelig sideeffekt. Ansøgerens undersøgelser af tilsvarende lagerfelteffekttransistorer, nemlig felteffekttransistorer med kanaler af samme længde, dvs. $10\text{ }\mu$, jfr. den nævnte anden rapport, side 370, højre spalte, kapitel A, første afsnit, har vist, at der her må påtrykkes usædvanligt høje spændinger for at opnå en til programmering tilstrækkelig sikker negativ opladning af lagerelektroden.

Da forfatterne til de to rapporter ikke har givet nogen begrundelse for anvendelsen af en asymmetrisk lagerelektrode, kan man kun komme med formodninger herom. Forfatterne synes først og fremmest at have formodet, at den hidtil positivt programmerede lagerelektrode ikke kun blev afladet ved elektroninjektionen fra det nævnte pinch-off-område, altså ved kompensation, men at de forholdsvis hurtige kanalelektroner navnlig i nærheden af drænområdet, altså i nærheden af pn-overgangen, frembragte opvarmede huller, og at sådanne opvarmede huller ligeledes kunne injiceres i lagerelektroden, hvorved dennes afladning kunne gøres langsommere eller endda umuliggøres. Formentlig af disse grunde har forfatterne benyttet den i fig. 8 i den første rapport angivne asymmetriske lagerelektrode i håb om, at der så ikke kunne injiceres opvarmede huller i lagerelektroden. Den anden rapport synes i kraft af sin særdeles klare opbygning at være skrevet efter den første rapport. Af fig. 2 i den anden rapport og den tilhørende beskrivelse fremgår det imidlertid med påfaldende tydelighed, at endnu på dette tidspunkt ansås anvendelsen af en symmetrisk lagerelektrode G1 for nødvendig for at opnå den tilstræbte, i rapportens fig. 5 angivne sletning.

Ved den foreliggende opfindelse kræver frembringelsen af den dræn-kildestrømmen hæmmende influens en tilsvarende negativ opladning af lagerelektroden. Ansøgerens egne undersøgelser har vist, at der ved korte kanallængder, f.eks. $3,6\text{ }\mu$, også ved hjælp af kanalinjektion kan opnås en høj negativ opladning af lagerelektroden. Det særlige består her i, at feltstyrken i kanalen ved korte kanallængder som følge af hastighedsmætning med forholdsvis lave spændinger og endda uden frembringelse af en udtømmingszone foruden frembringelse af et pinch-off-område kan gøres tilstrækkelig stor til opvarmning af kanalelektroner, nærmere betegnet så kraftig, at der fra kanalen emitteres elektroner, som trænger gennem isolatoren og kan oplade lagerelektroden negativt. Ved denne kanalinjektion kan lagerelektrodens potential tilmed være kraftigt positivt i forhold til drænområdets potential, hvorved der hverken opstår et pinch-off-område eller en udtømmingszone, og til trods herfor og i modsætning til de to kendte rapporter opnås en forbedret injektion i stedet for, at denne umuliggøres.

Forfatterne til de to nævnte rapporter har således kun tilstræbt og opnået den af dem beskrevne sletning af en oprindeligt positivt opladet lagerelektrode, således som det fremgår af fig. 5 i den anden rapport. De har ikke nået frem til

den ved opfindelsen foreslåede, éntydige negative opladning af lagerelektroden til f.eks. - 10V, hvorved der ikke blot er tale om en ringe sideeffekt, som der kan ses bort fra, men ifølge opfindelsen om udnyttelse af en effekt, der er pålidelig og tilstrækkelig til frembringelse af den dræn-kildestrømmen hæmmende influens.

I tidsskriftet Solid State Electronics, nr. 12, 1969, side 981-987, er i fig. 1 vist en MNOS-lagerfelteffekttransistor med to portelektroder. Mellem styreelektroden G2 og hovedstrækningen i denne lagerfelteffekttransistor, som ifølge artiklens fig. 3 er udstyret med en n-kanal, er anbragt en anden, styrbar mellemelektrode, som kun dækker en til kildeområdet grænsende del af kanalen. Den til drænområdet grænsende, resterende del af kanalen samt dele af mellemelektroden dækkes af styreelektroden. Der er således her tale om en lignende opbygning som i den ovennævnte, i den angivne første rapport beskrevne lagerfelteffekttransistor med den forskel, at der her foreligger en MNOS-lagerfelteffekttransistor uden kanalinjektion, hvor desuden mellemelektroden ikke er svævende, men udefra styrbar. MNOS-lagerfelteffekttransistorer har imidlertid i forhold til lagerfelteffekttransistorer med isoleret, svævende lagerelektrode den ulempe, at de som følge af ladningsnedbrydning efter forholdsvis kort tid mister deres programmerede tilstand, hvilket frem for alt sker des hurtigere, jo hyppigere tilstanden læses. I modsætning hertil indtræder ladningsnedbrydningen ved lagerfelteffekttransistorer med svævende lagerelektrode langt senere og er desuden i vidt omfang uafhængigt af antallet af i mellemtiden foregåede læseoperationer.

Opgaven her er at give anvisning på en ved hjælp af kanalinjektion, nemlig med elektroner programmerbare lagerfelteffekttransistorer, hvis lagerelektrode kan aflades med elektriske midler, f.eks. ved hjælp af lavine-effekten med høj spænding mellem dræn- eller kildeområdet og substratet i spærret tilstand af kanalen eller ved hjælp af andre, i det følgende beskrevne effekter. Herigennem kan et kvartsvindue i det felteffekttransistoren omgivende hus til muliggørelse af sletning ved hjælp af ultraviolet lys undværes, således at der kan benyttes et billigt plasthus.

Denne lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen skal som særtræk også have den egenskab, at den med dræn-kilde-læsespændingen belastede hovedstrækning i lagerfelteffekttransistoren, altså dens dræn-kildestrækning, selv ved overdreven sletning, dvs. positiv opladning af lagerelektroden med huller efter sletningen, er ikke-ledende, så længe der på styreelektroden ikke optræder noget positivt potential i forhold til alle direkte fra styreelektroden styrede kanaldele, altså så længe styreelektroden for eksempel har påtrykt kildepotentialet. Når der på styreelektroden påtrykkes et tilstrækkeligt kraftigt positivt potential, skal den med dræn-kilde-læsespændingen belastede hovedstrækning i lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen være ledende, såfremt lagerfelteffekttransistoren er uprogrammeret, altså slettet eller overdrevent slettet. Den med samme dræn-kilde-læsespænding belastede hovedstrækning skal imidlertid til trods for positivt potential på

styreelektroden være ikke-ledende, såfremt lagerelektroden er programmeret med elektroner. Hvis der imidlertid på styreelektroden i forhold til mindst én af de nævnte kanaldele ligger et negativt potential eller omtrent samme potential, skal den med dræn-kilde-læsespændingen belastede hovedstrækning uafhængigt af, om lagerelektroden er slettet, overdrevent slettet eller programmeret, til stadighed være ikke-ledende eller i det mindste dårligt ledende.

Løsningen på denne opgave udgøres af en særlig lagerfelteffekttransistor med asymmetrisk lagerelektrode, hvor denne lagerfelteffekttransistor navnlig drives på en anden måde end inden for den kendte teknik. Denne løsning er ejendommelig ved, at lagerelektroden kun dækker en over den fulde kanalbredde udstrakt, første kanaldel, som indeholder eller i det mindste grænser til det sted i kanalen, hvor de opvarmede elektroner emitteres under programmering ved hjælp af kanalinjektion, og at den resterende, med den første kanaldel elektrisk serieforbundne del af kanalen er dækket af styreelektroden, men ikke af lagerelektroden, således at tilstanden i den første kanaldel styres såvel direkte af styreelektrodetilstanden som indirekte af lagerelektrodetilstanden, medens tilstanden i den resterende del af kanalen kun styres direkte af styreelektrodetilstanden.

Ved opfindelsen er det ved hjælp af kanalinjektion elektronemitterende kanalsted, der f.eks. ligger i nærheden af drænområdet, således dækket af lagerelektroden, eller den af lagerelektroden dækkede kanaldel grænser til dette kanalsted. Som følge heraf kan de emitterede opvarmede elektroner oplade lagerelektroden. Fremfor alt tjener de ved hjælp af kanalinjektionen emitterede elektroner til programmeringen, dvs. opladningen af lagerelektroden, i stedet for til sletningen, dvs. afladningen af lagerelektroden. Tillige opnås, at lagerfelteffekttransistorens hovedstrækning, dvs. dræn-kildestrækningen som følge af den negative opladning af lagerelektroden bringes i den spærrende eller overmåde spærrende tilstand. Den negative opladning af lagerelektroden bevirker således, at der f.eks. ved en felteffekttransistor af berigelsestypen selv ved overdreven sletning af lagerelektroden, altså ved positiv opladning af lagerelektroden med huller, når styreelektroden påtrykkes kildepotentialet, der f.eks. er jordpotential, uafhængigt af tilstanden af den første, af lagerelektroden styrede kanaldel ikke går nogen strøm i den med dræn-kilde-læsespændingen belastede hovedstrækning i lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen, fordi den resterende del af kanalen er ikke-ledende. Det samme gælder ved tilsvarende ændrede potentialer for en felteffekttransistor af udtømmningstypen og en felteffekttransistor med spærretype-kanal. Disse forhold forklares nærmere ved hjælp af udførelseseksemplerne.

Det i fig. 10 viste længdesnit af en lagerfelteffekttransistor af berigelses-typen med n-kanal viser den på alle sider af en isolator I_s omgivende og derfor elektrisk svævende lagerelektrode G_1 . Ved programmeringen oplades denne lagerelektrode G_1 negativt af opvarmede elektroner Ke , som frembringes ved kanalstedet V i selve kanalen. Efter denne negative opladning indvirker lagerelektroden G_1 derfor navnlig ved læsning på hovedstrækningen $S-D$ gennem influens på en måde, som hæmmer strømmen i hovedstrækningen, og det i mere udtalt grad, jo mindre afstanden er.

Lagerfelteffekttransistoren indeholder desuden den styrbare styreelektrode G_2 . Ved eksemplet i fig. 10 er lagerelektroden G_1 anbragt således mellem styreelektroden G_2 og hovedstrækningen $D-S$, at den kun dækker en første, her til drænområdet grænsende del K_1 af kanalen. Denne dækning strækker sig over kanalens fulde bredde. I denne kanaldel K_1 er i dette tilfælde indeholdt det kanalsted V , som ved programmeringen ved hjælp af kanalinjektion emitterer de opvarmede elektroner Ke . Den resterende del K_2 af kanalen dækkes af styreelektroden G_2 , men ikke af lagerelektroden G_1 , og denne del K_2 grænser i dette tilfælde i øvrigt kun til kildeområdet.

Tilstanden i den første kanaldel K_1 styres både direkte af lagerelektrodetilstanden og indirekte af den hertil kapacitivt koblede styreelektrodetilstand; den kapacitive kobling mellem de to portelektroder vil være kraftigere, jo mindre afstanden y mellem disse portelektroder er og jo større de hinanden overlappende overflader af disse portelektroder er. Tilstanden i den resterende kanaldel K_2 styres direkte alene af styreelektrodetilstanden, og det i mere udpræget grad, jo mindre afstanden z mellem styreelektroden G_2 og den resterende kanaldel K_2 er.

Overlapningen mellem de to portelektroder kan også ligge uden for det i fig. 10 viste snitplan i lagerfelteffekttransistoren i stedet for, som vist i figuren, inden for dette snitplan.

Ved dette udførelseseksempel for lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen indeholder kanalen således to elektrisk serieforbundne dele K_1 og K_2 . Hvis derfor lagerfelteffekttransistoren over styreelektrodetilslutningen A ikke belastes med et til læsning bestemt, i forhold til kildepotentialet tydeligt positivt potential, altså hvis f.eks. kildepotentialet samtidigt er påtrykt styreelektrodetilslutningen A , vil den resterende kanaldel K_2 være i sin ikke-ledende tilstand. Uafhængigt af tilstanden i den første kanaldel K_1 vil den resterende kanaldel K_2 og derfor også hovedstrækningen $S-D$ i så fald altid være ikke-ledende. Som læse-resultat vil der altså uafhængigt af lagerelektrodetilstanden ikke gå nogen strøm i hovedstrækningen. Dette er specielt uafhængigt af, om lagerelektroden er opladet med elektroner, eller om den er afladet eller afladet til overflod, dvs. opladet med huller. Selv en overdreven sletning, hvorved den første kanaldel K_1 er styret i ledende tilstand, kan altså ved opfindelsen ikke medføre, at læsespændingen

mellem styreelektrode og kanal fører til forkerte læseresultater.

Hvis derimod styreelektrodetilslutningen A får tilført et i forhold til kildepotentialet tilstrækkeligt positivt læsepotential, vil hele den resterende kanal-del K2 uafhængigt af lagerelektroden G1's programmeringstilstand blive styret i ledende tilstand. Samtidigt vil den første kanaldel K1 afhængigt af lagerelektroden G1's programmeringstilstand som følge af den kapacitive kobling mellem de to portelektroder være ledende eller ikke-ledende. Den vil være ikke-ledende, såfremt lagerelektroden G1 er programmeret ved hjælp af elektroner, men ledende i tilfælde af, at lagerelektroden G1 i det mindste med tilnærmelse befinder sig i afladet eller i overdrevent afladet, dvs. positivt opladet, tilstand.

Hvis således lagerelektroden G1 efter sletning ikke er fuldstændigt uden ladninger, men i stedet overdrevent afladet og derfor positivt opladet, er det ved det viste udførelseseksempel til trods herfor muligt at foretage en pålidelig læsning, idet den i fig. 10 viste hovedstrækning S-D på den ene side kun er ledende ved påtrykning af et positivt læsepotential på tilslutningen A, medens den på den anden side er ikke-ledende, hvis der på hovedstrækningen S-D påtrykkes i forhold hertil negative, til en ikke-læse-kommando svarende potentialer uafhængigt af, om lagerelektroden er fuldstændigt eller overdrevent afladet.

Ydermere er den beskrevne pålidelige læsning også mulig ved et lager indeholdende et antal lagerceller hver med kun en enkelt lagerfelteffekttransistor ifølge opfindelsen ved den beskrevne driftsmåde, også uden at der i hver celle ud over den pågældende lagerfelteffekttransistor benyttes en hermed serieforbundet selvstændig styrefelteffekttransistor, og endog selv om der tillades overdreven sletning, jfr. fig. 4. Med opfindelsen opnås et særdeles ringe pladsbehov pr. lagercelle og en reduktion af de for hver lagercelle nødvendige dele samt særdeles lave tolerancekrav til de ved hjælp af elektriske midler styrbare sletteoperationer. Disse små tolerancefordringer fremgår navnlig af, at der ved opfindelsen også kan tillades en overdreven sletning.

Kanalinjektionen kan tilvejebringes gennem den nævnte frembringelse af opvarmede elektroner i kanalen i nærheden af drænområdet, således som det også er vist i fig. 11 ved beliggenheden af kanalstedet V. Herved kan der for eksempel på styreelektroden over tilslutningen A altid påtrykkes et sådant potential og over hovedstrækningen D-S en sådan spænding, at der ved det pågældende sted V i den første kanaldel K1 frembringes en hastighedsmætning af kanalelektronerne og nærmere bestemt med en sådan varighed, at den ønskede fuldstændige programmering af lagerelektroden G1 opnås.

Imidlertid er det som vist i fig. 12 også muligt at anbringe en accelerationsstrækning V inde i kanalen, f.eks. i nærheden af drænområdet, idet en sådan accelerationsstrækning her dannes af en indsnævring V af kanalen. I stedet for eller i tilgift til en sådan indsnævring V kan accelerationsstrækningen også være dannet

af en på anden måde udført inhomogenitet i kanalen ved det pågældende sted, f.eks. ved en stærk fortykkelse af isolatoren mellem lagerelektroden og kanalen.

Lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen kan ikke blot programmeres, men også slettes med elektriske midler, idet sletning for eksempel kan finde sted ved udnyttelse af lavine-effekten, såfremt den af lagerelektroden G1 dækkede første kanaldel K1 grænser til pn-overgangen mellem på den ene side kanalen og på den anden side dræn- eller kildeområdet, idet denne pn-overgang i spærrende tilstand belastes til gennembrud, således at opvarmede huller fra denne pn-overgang kan trænge gennem isolatoren til lagerelektroden. I lagerelektroden G1 vil disse injicerede huller kompensere for den tilstedeværende negative opladning og derved forårsage den med elektriske midler tilvejebragte sletning. Som allerede nævnt kan der i denne forbindelse uden risiko for driften af lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen tillades en overkompensation af den negative opladning af lagerelektroden. Da en overkompensation er uskadelig, kan tolerancerne for slettespændingen ved opfindelsen være tilsvarende store. Desuden kan lagerelektroden G1's afladning, navnlig ved anvendelse af slettespændinger, fremskyndes, dvs. gennemføres på særlig kort tid. Derudover kan lagerfelteffekttransistoren også slettes på andre i og for sig kendte måder, f.eks. ved hjælp af ultraviolet lys eller røntgenstråler.

Sletningen kan også gennemføres ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten eller elektrodeoverfladeeffekten.

Bortstrømningen af elektronerne kan ske til den første kanaldel K1, såfremt denne er udformet som udtømningskanal og derfor er n-doteret, eller til kildeområdet S eller drænområdet D, altså de n-doterede områder. Hertil skal slettespændingen påtrykkes mellem tilslutningen A på den ene side og S eller D på den anden side; I denne forbindelse kan potentialet på det andet område D eller S eller potentialet på substratet HT være svævende, såfremt der ikke er nogen udtømningskanal. Definitionen på dræn og kilde svarer her til strømretningen i hovedstrækningen under programmeringen eller under læsningen.

Denne anvendelse af en effekt, der medfører acceleration af oplagrede elektroner fra lagerelektroden G1 til hovedstrækningen, har den yderligere fordel, at slettespændingen, som må tilføres mellem tilslutningen A og hovedstrækningen, ofte kan være betydeligt lavere end ved udnyttelse af lavine-effekten til sletning, således som det allerede er forklaret under henvisning til fig. 9.

Ved et udførelseseksempel for lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen kan lagerelektrodens afladning også finde sted til kildeområdet S, når der mellem kildeområdet og den første kanaldel K1 ligger en resterende kanaldel K2. Dertil kan lagerelektroden G1, som vist i fig. 11, ved siden af kanalen K1/K2 have en over en oxidtykfilm forløbende, ledende forbindelse LK til en lap L, som i betydelig afstand fra kanalen dækker dele af kildeområdet S. Mellem lappen L og

kildeområdet S ligger en oxidtyndfilm. Lagerelektroden G1's afladning finder sted over den ledende forbindelse mellem lagerelektroden og lappen L. Hertil kan navnlig anvendes tre forskellige effekter separat eller overlejret på hinanden:

1. I området for lappen L kan pn-overgangen mellem kildeområdet og substratet HT være styret til lavinegennembrud, hvorved huller strømmer fra denne gennembrudte pn-overgang over lappen L til lagerelektroden G1, såfremt der samtidigt er påtrykt et i forhold til kildetilslutningen tilstrækkeligt negativt potential på den med lagerelektroden G1 kapacitivt koblede styreelektrode G2.
2. Fowler-Nordheim-tunneleffekten og/eller
3. elektrodeoverfladeeffekten, der ligeledes kan benyttes mellem lappen L og kildeområdet S til sletning af lagerelektroden G1. Hertil påtrykkes der mellem styreelektroden G2 og dermed lagerelektroden G1 på den ene side og kildeområdet S på den anden side en til acceleration af elektronerne i lagerelektroden G1 over lappen L ind i isolatoren mellem lappen L og kildeområdet S tilstrækkelig spænding. For denne spænding gælder de i fig. 9 angivne afhængigheder på tilsvarende vis for isolatortykkelsen x mellem lappen L og kildeområdet S. Samtidigt kan potentialet på drænområdet eller potentialet på substratområdet HT være svævende, således at der ikke kan strømme elektroner fra lagerelektroden G1 til disse to områder.

Forbindelsen LK mellem lappen L og lagerelektroden G1 skal være adskilt fra substratet HT af en oxidtykfilm med en tykkelse på f.eks. 10 000 Å for at der ikke i overfladen af substratet HT i området for forbindelsen LK skal opstå en ledende kanal mellem kildeområdet S og kanaldelen K1 i tilfælde af, at lagerelektroden G1 én gang ved overdreven afladning er opladet positivt med huller. Anbringelsen af lappen L og den elektriske forbindelse LK mellem lappen L og lagerelektroden G1 har således navnlig den fordel, at der hermed muliggøres en afladning af den hidtil negativt opladede lagerelektrode til kildeområdet S med særligt lav tabsvarme og yderligere med lav slettespændingsamplitude U . Programmeringen sker nemlig ved kanalstedet V og altså langt fra det sted, hvor lagerelektrodens afladning finder sted, således at forurening af isolatoren som følge af tilbageblevne ladninger kun bliver ringe.

Den i fig. 11 viste forbindelse LK er også antydnet i fig. 12. Udførelseseksemplet i fig. 12 adskiller sig i det væsentlige i to henseender fra det i fig. 11 viste udførelseseksempel:

1. Med hensyn til opbygningen af det kanalsted V, hvor kanalinjektionen frembringes, idet dette kanalsted her er udformet som en accelerationsstrækning gennem en kraftig indsnævring, dvs. en inhomogenitet, og
2. med hensyn til styreelektroden G2, som her kun dækker en del af lagerelektroden G1 i området for den første kanaldel K1.

Det har nemlig vist sig, at i hvert fald ved lille lagtykkelse y mellem

lagerelektroden G1 og styreelektroden G2 vil en forholdsvis lille indbyrdes overlapning mellem disse elektroder som vist i fig. 12 ofte være tilstrækkelig. I dette tilfælde er overlapningen således mindre end geometrisk muligt. Også i sådanne udførelseseksempler med kun en delvis overlapning er det nemlig ofte muligt at opnå en tilstrækkelig kraftig kapacitiv kobling mellem lagerelektroden G1 og styreelektroden G2 til at påvirke potentialet på lagerelektroden G1 og dermed ledningstilstanden i kanaldelen K1 ved hjælp af potentialet på styreelektroden G2.

Hvis den første kanaldel K1 grænser til drænområdet D, kan kanalinjektionen også frembringes ved styring af en kanal, som ikke udviser nogen inhomogenitet, på den ovenfor beskrevne måde ved hjælp af tilstrækkelig høje spændinger mellem drænområde og kildeområde, navnlig når der på tilslutningen A er påtrykt et passende højt positivt accelerationspotential til acceleration af kanalelektronerne mod lagerelektroden.

Hvis den første kanaldel K1 i stedet grænser til kildeområdet S, kan programmeringen ske ved hjælp af en gennem en inhomogenitet frembragt kanalinjektion. Herved undgås på fordelagtig måde også en kapacitiv belastning af de til drænområdet tilsluttede ledninger, når den første kanaldel K1 som følge af overdreven sletning er ledende, så længe den resterende kanaldel K2 er ledende; en ledende første kanaldel K1, som grænser til drænområdet, bevirker nemlig en vis kapacitiv forbindelse mellem den til drænområdet D sluttede ledning og tilslutningen A over den mellem lagerelektroden G1 og styreelektroden G2 på den ene side og den ledende første kanaldel K1 på den anden side dannede kapacitet. Desuden kan der ved denne videreudvikling tillades en særlig ringe isolatortykkelse x mellem lagerelektroden og kanalen, fordi der ikke skal tages hensyn til nogen nedre grænseværdi svarende til det under henvisning til fig. 9 beskrevne skæringspunkt mellem kurven F1 og den, når den første kanaldel K1 grænser til drænområdet, gældende kurve F3 ved den driftsform, der her er tale om. Som følge af denne specielt ringe lagtykkelse X kan denne videreudvikling således drives med særligt lave spændinger.

Hvis den første kanaldel K1 hverken grænser til kildeområdet S eller til drænområdet D, således at der såvel mellem drænområdet D og den første kanaldel K1 som mellem denne kanaldel og kildeområdet S ligger et afsnit af den resterende, af to afsnit bestående kanaldel K2, undgås en kapacitiv forbindelse mellem både kildeområdet S og drænområdet D på den ene side og tilslutningen A på den anden side. Egenkapaciteten mellem den til sletning tjenende lap L og den tilhørende hovedstrækningstilslutning, her kildetilslutningen S, er nemlig i sammenligning med disse kapacitive forbindelser lille, således at der i vidt omfang kan ses bort fra den. Desuden har denne videreudvikling også den fordel, at der kan tillades en særlig lav isolatortykkelse og dermed særligt lave driftsspændinger,

fordi den i fig. 9 viste nedre grænseværdi heller ikke her behøver at overholdes, fordi den første kanaldel K1 jo ikke grænser til drænområdet.

Hvis den resterende kanaldel K2 eller i det mindste et afsnit af denne er anbragt mellem drænområdet D og den første kanaldel K1, kan hovedstrækningen, selv om kanaldelen K1 er ledende, kun blive lavohmsk strømledende, hvis der på styreelektroden G2 ligger et mere positivt potential end på drænområdet D.

Lappen L kan navnlig i den videreudvikling, hvor den resterende kanaldel har to afsnit, også dække dele af drænområdet i stedet for dele af kildeområdet, hvorved sletningen kan tilvejebringes ved påtrykning af slettespændinger på drænområdet D i stedet for kildeområdet S.

Selv om opfindelsen her er beskrevet ved hjælp af udførelseseksempler af berigelsestypen, kan de foreslåede foranstaltninger også bringes i anvendelse ved lagerfelteffekttransistorer med kanal af udtømningstypen og med spærretype-kanal. Herved kan egenskaberne ved sådanne kanaler kombineres med fordelene ved opfindelsen.

Som allerede nævnt i det foregående, er der på elektronafladningsstrømmen hyppigt overlejet en hulafladningsstrøm, der i kraft af sin modsatte strømretning ligeledes aflader lagerelektroden. Til forenkling af beskrivelsen vil der i det følgende i almindelighed kun blive henvist til elektronafladningsstrømmen, idet beskrivelsen så efter behov må kompletteres.

Ved passende spændingsamplituder kan den elektriske sletning og også den elektriske programmering på fordelagtig måde finde sted inden for kort tid, f.eks. inden for omkring 10 ms, allerede ved spændingsimpulser på ca. 35 V mellem lagerelektroden og kildeområdet ved førstegangs-sletning og inden for 1 minut ved f.eks. den tyvende sletning; de målte værdier ændrer sig således. De hertil nødvendige omkostninger er meget lave.

Anvendelsen af en n-kanal i stedet for en p-kanal er nødvendig i den pågældende lagerfelteffekttransistor, idet det ellers ikke er muligt at foretage programmering ved hjælp af kanalinjektion og i tilslutning hertil sletning ved hjælp af de ovennævnte effekter.

Gennem de i det følgende beskrevne foranstaltninger gøres det muligt at slette en enkelt lagercelle alene uden samtidigt at måtte slette andre lagerceller i et lager, f.eks. celler i samme lagerrække. Der kan således foretages en bitvis sletning af det samlede bitantal i en i en lagermatrix oplagret bitmængde. Derudover muliggør disse foranstaltninger hyppigt en samtidig sletning af yderligere lagerfelteffekttransistorer i den pågældende lagermatrix, navnlig i samme lagerrække, idet de tilsvarende spændinger føres til sådanne udvalgte lagerceller. Det hertil nødvendige konstruktionsmæssige opbud er meget ringe. Det har vist sig, at gennem muligheden for sletning af kun en enkelt bit af de i lageret oplagrede samlede informationer vil den tilstræbte ufølsomhed over for forstyrrelser ikke blot blive

ladt upåvirket af foranstaltningerne ifølge opfindelsen, men at forstyrrelsen af de øvrige i lageret oplagrede bit endda vil være særdeles ringe, idet den nemlig helt undgås.

Opfindelsen tager her sit udgangspunkt i en lagerfelteffekttransistor med n-kanal og med en med en tilslutning forsynet, styrbar styreelektrode og en på alle sider af en isolator omgivet, svævende lagerelektrode, som ved programmeringen oplades negativt af ved hjælp af kanalinjektion i felteffekttransistorens egen kanal frembragte, opvarmede elektroner og efter denne opladning, navnlig ved læsning, ved hjælp af sin negative ladning indvirker på dræn-kildestrækningen, altså hovedstrækningen gennem influens på en dræn-kildestrømmen hæmmende måde, hvilken lagerfelteffekttransistor indgår i stort antal i en i integreret teknik på et substrat fremstillet lagermatrix, hvor hver lagerfelteffekttransistor danner en lagercelle, i hvilken den opladede, altså programmerede lagerelektrode med elektriske midler, nærmere betegnet en mellem styreelektroden og hovedstrækningen tilført slettespænding, aflades ved hjælp af en effekt, ved hvilken i lagerelektroden oplagrede elektroner, som af slettespændingen accelereres i retning bort fra lagerelektroden ind i isolatoren mellem lagerelektrode og hovedstrækning, foranlediges til bortstrømning gennem isolatoren til hovedstrækningen, altså til kanalen, drænområdet eller kildeområdet, idet der påtrykkes en slettespænding af passende polaritet mellem styreelektroden og det område af hovedstrækningen, hvortil afladningen skal finde sted, hvorhos styreelektroderne for de i en første matrixdimension anbragte lagerceller er indbyrdes forbundet gennem en første styreledning.

Fordelene ved opfindelsen muliggøres af, at i de med to tilslutninger udstyrede hovedstrækninger i de i den anden matrixdimension anbragte lagerceller er den anden tilslutning for hver hovedstrækning forbundet med en anden styreledning, hvilke anden styreledninger ikke til stadighed er indbyrdes galvanisk forbundne, og at slettespændingen ved sletning af en lagercelle påtrykkes mellem den med den tilhørende styreelektrode forbundne, første styreledning og den til den tilhørende anden tilslutning, forbundne, anden-styreledning.

I modsætning til det i fig. 4 viste lager er de nævnte anden-styreledninger ved denne udførelsesform således ikke til stadighed indbyrdes galvanisk forbundne over et fælles koblingspunkt So. Gennem den normalt bestående galvaniske adskillelse af disse anden styreledninger bliver det, over en sådan separat anden styreledning på den ene side og en første styreledning på den anden side, muligt at føre slettespændingen til den i skæringspunktet mellem disse to styreledninger anbragte lagercelle på en sådan måde, at sletningen sker bitvis af informationen i den pågældende lagercelle og ikke ordvis med samtidig sletning af informationerne i andre, med den samme første styreledning forbundne lagercelle. Gennem opfindelsen muliggøres herved en speciel, i sig selv fordelagtig udformning af aktivering af n-kanal-lagerfelteffekttransistoren.

I det følgende forklares videreudviklinger af opfindelsen nærmere ved hjælp

af udførelseseksempler som er vist i fig. 13, 14 og 15, hvor fig. 13 viser et antal lagerfelteffekttransistorer ifølge opfindelsen ordnet i en lagermatrix, og fig. 14 og 15 illustrerer særlige træk ved en enkelt lagerfelteffekttransistor.

I fig. 13 er vist n-kanal-lagerfelteffekttransistorer T1-T4. Den todimensionale lagermatrix kan indeholde betydeligt mere end fire sådanne lagerfelteffekttransistorer. De enkelte lagerfelteffekttransistorer indeholder hver udover en styrbar styreelektrode en på alle sider af en isolator omgivet, elektrisk sværende lagerelektrode, som i fig. 14 er vist ved G1, og som ved programmeringen oplades negativt af ved hjælp af kanalinjektion i felteffekttransistorens egen kanal, her ved et kanalsted V, frembragte, opvarmede elektroner. Efter denne negative opladning indvirker lagerelektroden G1 navnlig ved læsning i kraft af sin negative opladning på hovedstrækningen, her en del K1 af denne, gennem influens på en dræn-kildestrømmen hæmmende måde. Efter programmeringen er hovedstrækningen, her K1/K2, således styret i en overmåde spærret tilstand.

Den opladede, altså programmerede lagerelektrode G1 kan med elektriske midler, nærmere bestemt en mellem styreelektroden og hovedstrækningen tilført slettespænding, aflades ved hjælp af en effekt, ved hvilken i lagerelektroden oplagrede elektroner foranlediges til bortstrømning gennem isolatoren, her Is, til hovedstrækningen. På denne elektronafladningsstrøm kan der som før beskrevet på samme sted i isolatoren være overlejret en hulafladningsstrøm. Den pågældende slettespænding påtrykkes med passende amplitude og polaritet mellem styreelektroden og det område af hovedstrækningen, dvs. mellem styreelektroden på den ene side og drænområdet, kildeområdet eller kanalen på den anden side, hvortil afladningen skal finde sted.

Ved det i fig. 13 viste eksempel skal afladningen finde sted til kildeområdet S, dvs. til anden-styreledningerne Y'', jvf. f.eks. lagercellen T1 og den tilhørende anden styreledning Y''1 i fig. 13.

De enkelte lagerfelteffekttransistorer er ordnet til en i integreret teknik fremstillet lagermatrix, hvor hver enkelt af lagerfelteffekttransistorerne danner en selvstændig lagercelle. Styreelektroderne i de i den første matrixdimension anbragte lagerceller er forbundet indbyrdes over første styreledninger, som i fig. 13 er vist ved X1 og X2. Disse styreledninger X repræsenterer her lagerets rækkeledninger. Den anden tilslutning, her kildetilslutningen S i den med to tilslutninger forsynede hovedstrækning i hver af de i den anden matrixdimension anbragte lagerceller er forbundet til en anden styreledning henholdsvis Y''1 og Y''2, hvilken anden styreledninger Y'' ikke til stadighed er indbyrdes galvanisk, dvs. godt ledende forbundet. Dette repræsenterer et første træk, hvorved den i fig. 13 viste udførelsesform for opfindelsen adskiller sig fra den i fig. 4 viste kobling. Som følge af denne galvaniske adskillelse er der ved udførelseseksemplet i fig. 13 ikke noget fælles koblingspunkt So som i udførelsesformen i fig. 4.

I stedet findes der indbyrdes adskilte, tilsvarende koblingspunkter SY1 og SY2, som heller ikke til stadighed er galvanisk forbundne med hinanden.

Ifølge et yderligere træk ved opfindelsen sker sletningen ved den viste udførelsesform ved, at slettespændingen U_{r1}/U_{t1} til den udvalgte lagercelle, f.eks. T3, hvor f.eks. $U_{r1} = +35V$ og $U_{t1} = 0V$ tilføres over den tilhørende første styreledning, her X2, og den tilhørende anden styreledning, her Y'1, jvf. fig. 13. I dette tilfælde aflades den i den isolerede, svævende lagerelektrode i cellen T3 oplagrede negative ladning over kildetilslutningen S for denne lagercelle T3 til koblingspunktet SY1. For at undgå uønskede påvirkninger i form af sletninger eller programmeringer af de ikke udvalgte lagerceller T1, T2 og T4 kan der på de øvrige første styreledninger f.eks. være påtrykt +20V og på de øvrige anden styreledninger 0V. For at undgå strømme i hovedstrækningerne kan samtidigt potentialet på dræntilslutningerne D, dvs. styreledningerne Y1 og Y2 være svævende.

Ved hjælp af særlige, ikke i fig. 13 viste koblere kan der imidlertid forbigående etableres galvanisk forbindelse mellem koblingspunkterne SY1 og SY2 og hermed en galvanisk forbindelse mellem anden styreledninger, f.eks. med henblik på samtidig sletning af flere lagerceller i en bestemt række i lageret. Hvis koblingspunkterne SY1 og SY2 forbindes galvanisk med hinanden, vil den pågældende slettespænding nemlig ikke blot blive ført til lagerfelteffekttransistoren i lagercellen T3, men samtidigt også til de yderligere lagerfelteffekttransistorer, som er beliggende i samme række, her lagercellen T4, hvorved begge lagerfelteffekttransistorerne T3 og T4 slettes samtidigt over deres kildetilslutninger S. Den normalt bestående galvaniske adskillelse mellem anden styreledningerne Y'1 muliggør imidlertid bitvis sletning af informationer i lageret i stedet for f.eks. samtidig ordvis sletning af den samlede information i flere lagerceller og indskrivning af et nyt ord i samtlige slettede celler. Herigennem formindskes således antallet af sletninger af cellerne, hvorved der i almindelighed som følge af det ofte begrænsede antal sletninger og nyprogrammeringer af en celle, det er muligt at foretage uden forurening eller ødelæggelse af isolatoren, opnås en forlængelse af lagerets forstyrrelsesfri levetid.

Navnlig de overlejlrede hul-afladningsstrømkomponenter kan, hvis de er tilstrækkeligt store, åbenbart frembringe lokale opladninger af isolatoren ved afladningsstedet, altså opladede områder ved hvert sted i isolatoren, over hvilket afladningen aflagerelektroden G1 finder sted, således at der i hvert af disse steder fra afladning til afladning sker en stadig stærkere forurening af isolatoren. Som følge af denne forurening vil varigheden af afladningen som allerede beskrevet tiltage for hver ny afladning, indtil afladningen til slut bliver af så lang varighed, f.eks. flere minutter, at yderligere sletninger så at sige må anses for ugennemførlige. Lignende ændringer i de til programmering nødvendige

tidsrum eller de for konstant programmeringsvarighed nødvendige programmerings-spændinger iagttages ofte ved forurening af isolatoren i nærheden af det sted, hvorover lagerelektroden oplades.

For at forhøje det antal sletninger og nyprogrammeringer, som kan gennemføres uden kraftig forurening, dvs. uden forstyrrelse, kan der også ved denne udførelsesform gøres brug af den tidligere beskrevne foranstaltning, at programmeringen af den uopladede lagerelektrode finder sted i størst mulig afstand fra det sted i lagerfelteffekttransistorens isolator, hvorover sletningen af lagerelektroden foregår; herved bliver ændringerne i sletnings- og programmeringstidsrum mindre. Da lagerelektrodens sletning ved udførelseseksemplet i fig. 13 skal finde sted til kilde tilslutningen S, skal programmeringen for at undgå den f.eks. af restladninger bevirkede forurening af isolatoren I_s , som isolerer den svævende lagerelektroden, så vidt muligt foregå i afstand fra kildeområdet S. I dette tilfælde er det gunstigt, hvis det elektronemitterende kanalsted, som er vist ved V i fig. 14, ligger i størst mulig afstand fra kildeområdet S.

I fig. 14 og 15 er derfor vist et udførelseseksempel, hvor n-kanal-lagerfelteffekttransistorens lagerelektrode kun dækker en over kanalens fulde bredde udstrakt første del K1 af kanalen, hvilken del indeholder det kanalsted V, som ved programmeringen ved hjælp af kanalinjektion emitterer de opvarmede elektroner K_e . Det er også tilstrækkeligt, hvis denne første kanaldel K1 i det mindste grænser til dette kanalsted V. Ved denne særlige lagerfelteffekttransistor er der yderligere sørget for, at styreelektroden G1, men ikke lagerelektroden G2 dækker den resterende, med den første kanaldel serieforbundne del K2 af kanalen, således at tilstanden i den første kanaldel K1 styres såvel direkte af styreelektrodetilstanden som af lagerelektrodetilstanden, medens tilstanden i den resterende del K2 af kanalen kun styres direkte af styreelektrodetilstanden.

Denne lagerfelteffekttransistor kan være således udformet, at sletningen af lagerelektroden G1 til trods for afstanden mellem kildeområdet S og den første kanaldel K1 sker til kildeområdet S. Fig. 14 og 15 viser et eksempel på en i den henseende særlig gunstig udførelse. Som antydnet i figurerne viser fig. 14 et snit, der delvis forløber efter et plan MM, delvis efter et plan NN. Ved dette udførelseseksempel sker sletningen af lagerelektroden G1 over en med lagerelektroden G1 galvanisk forbundet, ved siden af kanalen K1/K2 anbragt arm LK, som ses i fig. 15, og over en dermed galvanisk forbundet lap L og en tynd, f.eks. 600Å tyk isolator I_s , som ses i fig. 14, til det separate sideområde S, idet armen LK på sin side er adskilt fra substratet HT af et særligt tykt, f.eks. 10000Å tykt isolationslag, således at den på armen LK forekommende negative ladning i det p-doterede substrat HT under armen LK ikke kan frembringe nogen ledende kanal, som ville kortslutte kanaldelen K2.

Som antydnet i fig. 14 og 15 kan styreelektroden G2 i den fra den første

kanal del K1 forskellige kanal del K2 være adskilt fra substratet HT alene ved en oxidtyndfilm på f.eks. 600Å. I dette tilfælde frembringer styreelektroden G2 kun med sin bredde B1 de i kanalen strømmende ladninger. Potentiallet på armen LK vil som følge af den forholdsvis gode ledningsevne i det lag, som danner armen LK, i vidt omfang være identisk med potentiallet på lagerelektroden G1 i området for den første kanal del K1. Potentiallet på armen LK vil derfor kun indirekte blive påvirket af styreelektroden G2.

For at forøge denne påvirkning kan man forøge kapaciteten mellem på den ene side styreelektroden G2 og på den anden side armen LK og lagerelektroden G1 f.eks. ved som angivet for den i fig. 15 viste variant af udførelseseksemplet at lade ikke blot lagerelektroden G1 men også armen LK være dækket af en fortsættelse B2 af styreelektroden G2, således at styreelektroden G2 kun er isoleret fra armen LK af en i fig. 15 af hensyn til overskueligheden ikke vist oxidtyndfilm. Over bredden B2 er styreelektroden G2 ved denne variant fremfor alt adskilt fra substratet HT ved en oxidtykfilm, således at hverken styreelektroden G2 eller lagerelektroden G1 kan frembringe en ledende kanal i substratet HT. Som følge af denne forøgelse af kapaciteten mellem styreelektroden G2 på den ene side og armen LK og lagerelektroden G1 på den anden side kan spændingen mellem styreelektroden G2 og kildeområdet S ved sletning vælges lavere end uden denne forøgelse af kapaciteten. Gennem denne nedsættelse af spændingen kan tolerancerne ved dimensioneringen af de generatorer, der leverer denne spænding, og de tilknyttede koblere forøges betydeligt, hvorved driftspålideligheden for lageret kan forbedres.

De første tilslutninger, her drænområderne D, for hovedstrækningerne i de i den anden matrixdimension anbragte lagerceller kan være indbyrdes forbundne gennem tredje styreledninger, her Y1, Y2. Disse tredje styreledninger Y kan på fordelagtig måde udnyttes både til programmeringen og til læsningen, således som det beskrives i det følgende.

Ved programmeringen af en lagercelle, f.eks. P3, kan der nemlig påtrykkes et programmeringspotential U_{t2} , på den til denne lagercelle knyttede første styreledning, her X2, således som vist i fig. 13. Programmeringspotentiallet U_{t2} accelererer de ved hjælp af kanalinjektion i kanalen frembragte frie elektroner i retning mod lagerelektroden.

For at få det pågældende kanalsted V til ved hjælp af kanalinjektion at afgive frie elektroner K_e , som oplader lagerelektroden G1, skal der til hovedstrækningen i den pågældende lagerfelteffekttransistor, her T3 over den anden og tredje styreledning Y'1 og Y1 tilføjes en programmeringsspenning pr. U_{r2} , U_{s2} , hvilken spænding f.eks. påtrykkes mellem den anden styreledning Y'1 og den tredje styreledning Y1 over den i fig. 13 viste kobler T5.

Det har vist sig, at lagerfelteffekttransistorer ifølge opfindelsen uden væsentligt konstruktionsmæssigt opbud også kan læses over tredje styreledningerne Y. Ved læsning af en udvalgt lagercelle, f.eks. T3 i fig. 13, kan der nemlig på den til denne lagercelle knyttede første styreledning, her X2, påtrykkes et sådant læsepotential U_{t3} , hvorved hovedstrækningen i den pågældende lagercelle T3 styres i ledende tilstand, såfremt lagercellen T3 ikke er programmeret, mens denne hovedstrækning, ved den i fig. 14 viste lagercelleudformning den første kanal del K1, styres i den spærrende tilstand, såfremt lagercellen T3 er programmeret. Ved samtidig tilførsel af en læsespænding, f.eks. U_{r3}/U_{s3} over den tilknyttede anden styreledning $Y''1$ og den tilknyttede tredje styreledning Y1 fastslås, om hovedstrækningen i den pågældende lagercelle er ledende eller spærret. Ved læsning af en lagercelle påtrykkes der således et læsepotential U_{t3} på den til denne lagercelle T3 knyttede første styreledning X2 og en yderligere læsespænding U_{r3}/U_{s3} mellem den anden og den tredje styreledning henholdsvis $Y2'1$ og Y1; den strøm, der herved går i hovedstrækningen K1/K2 og dermed gennem den anden og den tredje styreledning, henholdsvis $Y2'1$ og Y1 og overvåges i udgangsforstærkeren LV, er afhængig af, om lagercellen T3 er programmeret eller ikke.

Den i fig. 14 viste lagerfelteffekttransistor, der har to adskilte, elektrisk serieforbundne og forskelligt styrede kanaldele K1 og K2, har yderligere den allerede beskrevne fordel, at den kan udsættes for overdreven afladning ved sletningen, hvorved lagerelektroden G1 ikke blot aflades, men oplades positivt. Anbringelsen af sådanne lagerfelteffekttransistorer i en lagermatrix som vist i fig. 13 har således den fordel, at sletningen som følge af tilladeligheden af overdrevne sletninger kan udføres nemt og særdeles hurtigt med høje toleranceværdier for slettespændingen og slettepotentialer samt det tidsrum, i hvilket disse slettespændinger og slettepotentialer kan tilføres de enkelte lagerceller. Denne udformning af lageret er således særlig driftssikker.

Som allerede tidligere beskrevet er forurening af isolatoren uønsket, navnlig fordi slettetiden herved tiltager stærkt fra sletning til sletning, således at sletningen til sidst fuldstændigt ødelægges. Det har vist sig, at denne forurening ved sletningen næsten fuldstændigt kan undgås, således at slettetiderne kun tiltager i ringe grad, hvorved antallet af forstyrrelsesfri sletninger forøges betydeligt, og der kan opnås en tilsvarende forøgelse af lagerfelteffekttransistorens levetid. Til dette formål er det gunstigt, at sletningen udvirkes af slettespændinger U_{r1}/U_{t1} , som tiltager langsomt og kontinuerligt, f.eks. savtakformet inden for tre sekunder fra 0V til en slutværdi på f.eks. 35 V mellem hovedstrækningen og styreelektroden G2. Til sletningen kan også benyttes en tilsvarende amplitudemoduleret følge af positive impulser, hvor amplitudeindhyllingskurven tiltager langsomt og kontinuerligt.

Med en sådan langsom tiltagende slettespænding i stedet for en høj slette-

spænding fra begyndelsen sættes afladningen af lagerelektroden G1 kun langsomt igang, idet den nærmere bestemt starter nøjagtigt ved den minimalt mulige slettespænding som angivet ved F1 i fig. 9. Afladningen sker her alene ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten, ved hvilken den mellem lagerelektroden G1 og hovedstrækningen liggende spænding altid vil være for lille til, at der som følge af lavineeffekten samtidigt kan gå en overlejret hulafladningsstrøm, idet den ved kurven F2 i fig. 9 angivne, til frembringelse af en hulafladningsstrøm nødvendige minimumsspænding ikke nås i dette tilfælde. Der opstår således ikke nogen hulafladningsstrøm, således at kontaktstederne i isolatoren ikke besættes med huller. Under den langsomme stigning af slettespændingen mellem styreelektroden og hovedstrækningen opstår efterhånden, altså kun lidt efter lidt, elektronafladningsstrømmen, uden at spændingen mellem lagerelektroden G1 og hovedstrækningen herved væsentligt overstiger den til kurven F1 svarende højde. Stigningen i slettespændingen U_r/U_t skal altså ske så langsomt, at der ikke går nogen hulafladningsstrøm, og at slettetiden forbliver konstant. Da forureningen ved sletningen undgås, vil der trods hyppigere sletning og nyprogrammering ikke kunne iagttages nogen væsentlig forøgelse af slettetiden. Den højeste tilladelige værdi for slettespændingens stighastighed kan for en given konstruktion af lagerfelteffekttransistoren også fastslås ved forsøg med et prøveeksemplar.

Som følge af denne formindskelse af forureningen kan der tillades sletning også over det samme isolatorområde, hvorover programmeringen finder sted. Med denne særlige slettemetode kan det således tillades, at en i nærheden af drænområdet anbragt lagerelektrode såvel programmeres som slettes bitvis, uden at dette forårsager en uønsket stærk forøgelse af slettetiden. I dette tilfælde behøver man ved en lagerfelteffekttransistor, hvis lagerelektrode kun dækker den første, men ikke den resterende kanaldel, heller ikke anbringe en arm LK og en lap L i nærheden af kildeområdet som vist i fig. 14 og 15. Imidlertid vil det være gunstigt at anbringe armen LK og lappen L i nærheden af drænområdet, hvis den første kanaldel K1 er adskilt fra drænområdet af et lille afsnit af den resterende kanaldel K2.

Den ovenfor beskrevne slettemetode kan udover ved den i fig. 13 viste eksempel også benyttes på andre måder, således som det forklares i det følgende. I denne sammenhæng beskrives afladningen mere udførligt i det følgende.

Gennem den foranstaltning, at slettespændingen bringes til at tiltage langsomt mod sin slutværdi, løses det problem at formindske den ellers fra sletning til sletning iagttagne stigning i slettetiden også ved lagerfelteffekttransistorer, som ikke er anbragt i en matrix som vist i fig. 13. Da de som følge af denne foranstaltning nødvendige slettetider øges betydeligt langsommere, hvis de overhovedet øges, kan antallet af mulige forstyrrelsesfri sletninger og nyprogrammeringer forøges betydeligt. Gennem opfindelsen opnås derved også en forlængelse af

lagerfelteffekttransistorens levetid, fordi slettetiderne ikke så hurtigt når utilladeligt høje værdier.

Denne foranstaltning angår således en n-kanal-lagerfelteffekttransistor med en med en tilslutning forsynet, styrbar styreelektrode og en på alle sider af en isolator omgivet, svævende lagerelektrode, som ved programmeringen oplades negativt af ved hjælp af kanalinjektion i felteffekttransistorens egen kanal frembragte, opvarmede elektroner og efter denne opladning, navnlig ved læsning, i kraft af sin negative ladning indvirker på dræn-kildestrækningen, altså hovedstrækningen, gennem influens på en dræn-kildestrømmen hæmmende måde, hvorhos den opladede, altså programmerede lagerelektrode aflades med elektriske midler, nærmere bestemt en mellem styreelektroden og hovedstrækning tilført slettespænding, ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten, ved hvilken i lagerelektroden oplagrede elektroner, som af slettespændingen accellereres i retning mod fra lagerelektroden ind i isolatoren mellem lagerelektroden og hovedstrækningen, foranlediget til bortstrømning gennem isolatoren til hovedstrækningen, altså til kanalen, drænområdet eller kildeområdet, idet slettespændingen påtrykkes med passende polaritet, mellem styreelektroden og det område af hovedstrækningen, hvortil afladningen skal finde sted. Denne lagerfelteffekttransistor er ejendommelig ved, at den ved sletning mellem styreelektroden og hovedstrækningen påtrykte slettespænding tiltager langsomt, f.eks. i løbet af nogle sekunder, til sin slutværdi. Slettespændingen kan således f.eks. være savtakformet eller impulsformet med meget svagt stigende forflanke og konstant, til slutværdien svarende topværdi eller den kan udgøres af en amplitudemoduleret impulsfølge med langsomt tiltagende amplitude. I det følgende forklares de herigennem opnåede forbedringer ved sletningen, altså den større forstyrrelsesfrihed, ved hjælp af videreudviklinger, som er vist i fig. 16 og 17.

I fig. 16 er vist n-kanal-lagerfelteffekttransistorer T1-T4. Den todimensionale lagermatrix kan indeholde betydeligt mere end kun fire sådanne lagerfelteffekttransistorer. De enkelte lagerfelteffekttransistorer indeholder hver udover en styrbar styreelektrode en på alle sider af en isolator omgivet, elektrisk svævende lagerelektrode som eksempelvis illustreret ved lagerelektroden G1 i fig. 17. Ved programmeringen oplades lagerelektroden negativt ved hjælp af elektroner, der her er betegnet ved K_e og ved hjælp af kanalinjektion frembringes, dvs. opvarmes, i felteffekttransistorens egen kanal, herved kanalstedet V. Efter denne negative opladning indvirker lagerelektroden G1, navnlig ved læsning, i kraft af sin negative ladning på hovedstrækningen, i dette tilfælde en første del K1 af denne, gennem influens på en dræn-kildestrømmen hæmmende måde. Efter programmer-

ringen er hovedstrækningen, der her er betegnet $K1/K2$, således styret i en overdrevent spærrende tilstand.

Den opladede, altså programmerede lagerelektrode $G1$, kan med elektriske midler, nærmere bestemt en mellem styreelektroden og hovedstrækningen tilført slettespænding, aflades ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten, ved hvilken i lagerelektroden oplagrede elektroner foranlediges til bortstrømning gennem isolatoren, der her er betegnet I_s , til hovedstrækningen. Under sletningen kan der på denne elektronafladningsstrøm være overlejret en hulafladningsstrøm på samme sted i isolatoren. Denne hulstrøm går i modsat retning af elektronstrømmen, således at den ligeledes virker afladende på lagerelektroden $G1$.

Opfindelsen går i denne udførelsesform ud fra erkendelsen af, at hulafladningsstrømmen i det væsentlige opstår som følge af den på Fowler-Nordheim-tunneleffekten overlejlrede lavineeffekt. Denne lavineeffekt er beskrevet i sammenhæng med kurven $F2$ i fig. 9. Det har vist sig, at den fra sletning til sletning kraftige stigning i slettetiden navnlig hænger sammen med hulafladningsstrømmens optræden. Som følge af hullerne vil de kontaktsteder, der normalt uundgåeligt forekommer i isolatoren I_s , nemlig blive besat med huller, hvilket bevirker en forurening af isolatoren. Disse i isolatoren tilbageblevne huller medfører en stigning af de til sletningen nødvendige minimumsslettespændinger og den til sletning nødvendige slettetid.

Det har vist sig, at den kraftige stigning i slettetiderne, der ellers fører til fuldstændig forurening og fuldstændig forstyrrelse af sletningerne, kan undgås fuldstændigt eller dog i det mindste i vidt omfang, hvis der ved sletningen sørges for, at slettespændingen, der i fig. 16 er vist ved U_r og U_t og påtrykkes mellem i dette tilfælde lagerfelteffekttransistoren $T3$'s styreelektrode $G2$ og hovedstrækning, kun tiltager langsomt mod sin slutværdi. Slettespændingen skal således f.eks. tiltage savtakformet og kontinuerligt inden for tre sekunder fra $0V$ til sin slutværdi, der f.eks. kan være $+35V$, mellem hovedstrækningen og styreelektroden $G2$. Hertil kan for potentialet U_t vælges jordpotential og for potentialet U_r et i forhold hertil positivt tiltagende potential. Til sletningen kan også anvendes en tilsvarende amplitudemoduleret følge af positive impulser, hvis amplitude tiltager lige så langsomt savtakformet og ligeledes kontinuerligt, idet der er tale om en amplitudemoduleret impulsfølge, hvor amplitudespidsernes indhyllingskurve tiltager savtakformet langsomt og kontinuerligt til den slutværdi, ved hvilken lagerelektroden er slettet. I tilslutning hertil kan savtakspændingens slutværdi opretholdes konstant i et vist tidsrum for at fortsætte afladningen og så i dette tidsrum.

Med en sådan langsom tiltagende slettespænding i stedet for en fra begyndelsen høj slettespænding sker afladningen af lagerelektroden $G1$ kun langsomt og lidt efter lidt, så snart spændingen $F1$ mellem lagerelektroden og hovedstrækning

gen, altså dræn- eller kildeområdet, er nået. Under den nu begyndende afladning af lagerelektroden vil denne spænding have tendens til at blive mindre. Idet styreelektrode-hovedstrækningsslettespændingen imidlertid fortsat tiltager, vil spændingen mellem lagerelektrode og hovedstrækning til trods herfor stadig være lig med eller kun en smule højere end den for Fowler-Nordheim-tunneleffekten minimalt mulige spænding F_1 , jfr. fig. 9, navnlig ved optimal dimensionering af isolatortykkelsen. Afladningen sker her kun ved hjælp af Fowler-Nordheim-tunneleffekten, fordi den mellem lagerelektroden G_1 og hovedstrækningen virkende spænding, der til trods for den langsomme stigning i styreelektrode-hovedstrækningsspændingen med tilnærmelse forbliver konstant på grund af den lave værdi af elektron-afladningsstrømmen, altid er mindre end F_2 , således at der ikke samtidigt kan gå en fra lavine-effekten hidrørende, overlejet hulafladningsstrøm, idet der til opnåelse af en sådan hulafladningsstrøm kræves den høje, i dette tilfælde ikke opnåede minimumsspænding F_2 i fig. 9, så længe tykkelsen x af isolatoren I_s ikke overstiger en usædvanlig stor værdi, som f.eks. værdien 1100Å i fig. 9. Som følge af denne foranstaltning undgås altså den fra lavine-effekten hidrørende, overlejede hulafladningsstrøm. I stedet optræder som følge af den langsomme stigning i slettespændingen kun Fowler-Nordheim-tunneleffekten, som på fordelagtig måde allerede ved forholdsvis lave spændinger lidt efter lidt bevirker afladning af lagerelektroden G_1 .

Da hulafladningsstrømmen undgås, besættes kontaktstederne i isolatoren I_s ikke længere med sådanne huller. Som følge af den langsomme stigning i styreelektrode-hovedstrækningsslettespændingen går ved opfindelsen efterhånden, altså kun lidt efter lidt, elektronafladningsstrømmen, uden at spændingen mellem lagerelektroden G_1 og hovedstrækningen når høje værdier svarende til kurven F_2 . Stigningen i slettespændingen U_r/U_t skal således ske så langsomt, at der ikke går nogen hulafladningsstrøm, og at slettetiden så vidt muligt forbliver konstant. Et indicium for, at der går en hulafladningsstrøm, kan opnås ved måling af spændingen mellem det svævende substrat HT og det område S eller D , hvortil elektron-afladningen skal finde sted; hvis der også går en hulstrøm, vil denne spænding tiltage. Den højst tilladelige værdi af hastigheden i slettespændingens stigning kan for en aktuel konstruktion af lagerfelteffekttransistoren også fastslås ved forsøg med et prøveeksemplar, idet der højst kan tillades en sådan hastighed i stigningen, at der trods flere sletninger og nyprogrammeringer ikke konstateres nogen væsentlig forlængelse af slettetiden.

Idet forurening på denne måde undgås, kan sletningen nu tillades at foregå over samme område i isolatoren, over hvilket programmeringen har fundet sted. Man kan således, som vist i fig. 17, først udføre programmeringen ved et kanalsted V i nærheden af drænområdet ved hjælp af opvarmede elektroner K_e og i tilslutning hertil tilvejebringe sletning mod drænområdet D ved hjælp af elektronafladningsstrømmen K_d over praktisk taget samme område i isolatoren. Heller ikke i dette

tilfælde iagttages den ellers sædvanlige, ubehageligt kraftige forlængelse af slettetiden og nyprogrammeringstiden og heller ikke den i tilfælde af forurening sædvanlige, for ringe opladning af lagerelektroden efter nyprogrammering.

Til forbedring af sletningen ved lagerfelteffekttransistoren ifølge opfindelsen kan benyttes en videreudvikling, hvor der tillades en overdreven afladning af lagerelektroden G1, uden at hele lagerfelteffekttransistorens kanal som følge heraf styres i ledende tilstand. Ved denne videreudvikling skal der for eksempel sørges for, at lagerfelteffekttransistorens lagerelektrode kun dækker en i kanalens fulde bredde udstrakt første del, som vist ved K1 i fig. 17 af kanalen K1/K2. Denne første kanaldel K1 skal indeholde det kanalsted V, hvor der under programmeringen ved hjælp af kanalinjektion emitteres opvarmede elektroner, eller den første kanaldel K1 skal i det mindste grænse til dette kanalsted V. Yderligere skal en styreelektrode G2, men ikke lagerelektroden G1, dække den resterende, med den første kanaldel elektrisk serieforbundne del K2 af kanalen, således at tilstanden i den første kanaldel K1 styres både af styreelektrodetilstanden og af lagerelektrodetilstanden, medens tilstanden i den resterende kanaldel K2 kun styres af styreelektrodetilstanden.

I fig. 16 er vist en lagermatrix, der med tilnærmelse svarer til den i fig. 4 viste lagermatrix. Den i fig. 16 viste lagermatrix er imidlertid udstyret med lagerfelteffekttransistorer af den i fig. 17 viste udformning. Lagermatrixer med sådanne videreudviklinger af lagerfelteffekttransistoren kan ved sletningen med fordel drives på forskellig måde.

For det første kan der foretages sletning, endda bitvis, af den i en enkelt lagerfelteffekttransistor oplagrede information. Hertil skal slettespændingen, f. eks. ved sletning af lagerfelteffekttransistoren T3, virke mellem den tilhørende styreelektrode, i dette tilfælde X2, og det tilhørende drænområde, i dette tilfælde Y1. Den tiltagende slettespænding kan således frembringes ved påtrykning af potentialerne $U_{s1}=0V...+35V$ og $U_{t1}=0V$ på den udvalgte lagercelle, i dette tilfælde under styring fra kobleren T5 i ledende tilstand. I dette tilfælde aflades den på den isolerede, svævende lagerelektrode i lagercellen T3 oplagrede negative ladning over lagercellens drænområde D til kobleren T5. På de øvrige, med styreelektroderne forbundne styreledninger X kan i denne forbindelse for eksempel være påtrykt +20V og på de øvrige, med drænområderne forbundne styreledninger Y 0V, og det fælles koblingspunkt So kan være svævende for at undgå uønskede påvirkninger, dvs. sletninger og programmeringer, af de ikke udvalgte lagerceller T1, T2 og T4. Ved at holde det fælles koblingspunkt So svævende undgås samtidigt hovedstrøkningsstrømme, som frembringer unødvendig tabsvarme.

For det andet kan der også foretages samtidig elektrisk ordvis sletning af den i en række i lageret oplagrede totalinformation eller den i flere sådanne rækker oplagrede totalinformation. Hertil skal de pågældende potentialer føres til

alle tilsvarende, tilknyttede matrixstyreledninger X og Y. På denne måde kan der også foretages samtidig elektrisk sletning af den i samtlige rækker oplagrede information, idet de pågældende potentialer føres til samtlige matrixstyreledninger.

Ved programmering af en lagercelle, f.eks. T3, kan der på den til denne lagercelle knyttede, med styreelektroden G2 forbundne styreledning, i dette tilfælde X2, påtrykkes et programmeringspotential Ut2 på f.eks. +20V. Programmeringspotentialet Ut2 accelererer de ved hjælp af kanalinjektion i kanalen opvarmede, frie elektroner i retning mod lagerelektroden G1. For at det pågældende kanalsted V ved kanalinjektion kan emitte frie elektroner Ke til opladning af lagerelektroden G1, skal der til hovedstrækningen i den pågældende lagerfelteffekttransistor, i dette tilfælde T3, føres en programmeringsspenning, jfr. Ur2/Us2, med potentialerne f.eks. Ur2 = 0V og Us2 = +20V. Ved tilførsel af potentialet 0V til de øvrige matrixstyreledninger X1, Y2 vil de øvrige lagerfelteffekttransistorer T1, T2 og T4 ikke blive programmeret, aflæst eller slettet, og disse øvrige lagerfelteffekttransistorer forbruger heller ingen strøm og altså ingen energi.

Det i fig. 16 viste lager kan også læses uden et væsentligt konstruktionsmæssigt opbud. Ved læsning af en udvalgt lagercelle, f.eks. T3, kan der på den til denne lagercelle knyttede, med styreelektroden forbundne styreledning, i dette tilfælde X2, påtrykkes et læsepotential Ut3 på f.eks. +5V, hvorved hovedstrækningen i den pågældende lagercelle, i dette tilfælde T3, styres i ledende tilstand, såfremt lagercellen ikke er programmeret, medens hovedstrækningen, i dette tilfælde den første kanaldel K1 ved den i fig. 17 viste lagercellekonstruktion, ikke styres i ledende tilstand, således at lagercellen T3 forbliver spærret, hvis lagercellen er programmeret. Hvorvidt hovedstrækningen i den pågældende lagercelle er ledende eller spærret fastslås ved samtidig tilførsel af en læsespenning, i dette tilfælde Ur3/Us3, over den til den pågældende søjle hørende kobler T5 med potentialer på f.eks. Ur3 = +5V og Us3 = 0V. Ved læsning af en lagercelle tilføres således et læsepotential til den til denne lagercelles styreelektrode knyttede styreledning X2 og i tilgift hertil en læsespenning Ur3/Us3 til hovedstrækningen i denne lagercelle. Strømmen gennem hovedstrækningen K1/K2 giver et signal, som styrer udgangsforstærkeren LV. Denne udgangsforstærker overvåger således, om der går en strøm eller ikke, dvs. om lagercellen T3 er programmeret eller ikke-programmeret.

På den ikke udvalgte styreledning X1 kan der ved læsning ligesom ved programmering være påtrykt f.eks. 0V. jfr. fig. 16. Herved opnås, at der ikke kan gå strøm i nogen af de ikke-udvalgte lagerfelteffekttransistorer.

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåde til drift af en n-kanal lagerfelteffekttransistor, der som styreelektrode i det mindste har en på alle sider af en isolator (Is) omgivet, svævende lagerstyreelektrode (G1), til hvis omladning der benyttes elektroninjicerende kanalinjektion, hvorved elektroner ved hjælp af et i kilde-drænretningen virkende elektrisk felt accelereres og opvarmes så kraftigt, at de kan overvinde energitærsklen til isolatorens ledningsbånd og nå frem til lagerstyreelektroden, navnlig til brug ved et programlager i et telefonformidlingsanlæg, k e n d e t e g n e t ved, at kanalinjektionen udnyttes til programmering ved opladning af lagerstyreelektroden (G1) til et i forhold til den uladete tilstand negativt potential, idet der på drænelektroden (D) lægges et i forhold til kildepotentialet så kraftigt positivt potential, at lagerstyreelektroden (G1) oplades negativt af i den ledende kanal opvarmede elektroner.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, til drift af n-kanal lagerfelteffekttransistor med en yderligere på lagerstyreelektroden (G1) kapacitivt indvirkende styreelektrode (G2), k e n d e t e g n e t ved, at tærskelværdien (U_p) for spændingen (U_{G2}) på den yderligere styreelektrode ved programmeringen forskydes til en høj positiv værdi (kurven G1n, fig. 3).

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t ved, at kanalen under programmeringen drives i stærkt ledende tilstand.

4. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t ved, at kanalinjektionen til lagerstyreelektroden (G1) frembringes gennem opvarmning af elektronerne i kanalen (K_1) ved, at denne drives i en tilstand med hastigheds-mætning.

5. Fremgangsmåde ifølge et af de foregående krav til drift af en n-kanal lagerfelteffekttransistor med en yderligere på lagerstyreelektroden (G1) kapacitivt indvirkende styreelektrode (G2), k e n d e t e g n e t ved, at der til programmering lægges et i forhold til dræn-potentialet positivt potential på den yderligere styreelektrode (G2).

6. Fremgangsmåde ifølge et af de foregående krav, til drift af en n-kanal lagerfelteffekttransistor med en yderligere på lagerstyreelektroden (G1) kapacitivt indvirkende styreelektrode (G2), k e n d e t e g n e t ved, at der til læsning af lagerstyreelektrodens (G1) ladningstilstand lægges et så stærkt positivt potential på den yderligere styreelektrode (G2), at dræn-kildestrækningen (K) er ledende i uprogrammeret tilstand, men spærret i programmeret tilstand.

7. Fremgangsmåde ifølge et af de foregående krav til drift af en n-kanal lagerfelteffekttransistor med en yderligere på lagerstyreelektroden (G1) kapacitivt indvirkende styreelektrode (G2), k e n d e t e g n e t ved, at den

programmerede, opladede lagerstyreelektrode (G1) med henblik på sletning aflades ved hjælp af en slettespænding og under udnyttelse af en effekt (Fowler-Nordheim-tunneleffekt, styreelektrodeoverfladeeffekt), ved hvilken de i lagerstyreelektroden (G1) oplagrede elektroner, som af slettespændingen accelereres i retning bort fra lagerstyreelektroden (G1) ind i isolatoren (x) mellem lagerstyreelektroden (G1) og hovedstrækningen, bringes til at strømme gennem isolatoren til hovedstrækningen, og at slettespændingen påtrykkes mellem den yderligere styreelektrode (G2) og det område af hovedstrækningen, hvortil afladningen skal finde sted, med en hertil passende polaritet.

8. Fremgangsmåde ifølge krav 7, *k e n d e t e g n e t* ved, at slettespændingen påtrykkes mellem den yderligere styreelektrode (G2) og et område, der ligger afsides fra det kanalsted (V), over hvilket programmeringen af lagerstyreelektroden (G1) finder sted.

9. Fremgangsmåde ifølge krav 7 eller 8, *k e n d e t e g n e t* ved, at der som slettespænding benyttes en jævnspænding mellem på den ene side den yderligere styreelektrode (G2) og på den anden side kanalen (K), drænområdet (D) eller kildeområdet (S).

10. Fremgangsmåde ifølge krav 7 eller 8, *k e n d e t e g n e t* ved, at der som slettespænding benyttes en følge af impulser mellem på den ene side den yderligere styreelektrode (G2) og på den anden side kanalen (K), drænområdet (D) eller kildeområdet (S).

11. Fremgangsmåde ifølge et af kravene 7-10, *k e n d e t e g n e t* ved, at potentialet på det af dræn- og kildeområderne (D,S), hvortil der ikke skal strømme elektroner ved sletningen, bringes til at svæve.

12. Fremgangsmåde ifølge krav 7, 8, 10 eller 11, *k e n d e t e g n e t* ved, at der som slettespænding mellem den yderligere styreelektrode (G2) og det til afladningen anvendte område (D) af hovedstrækningen påtrykkes en til sin slutværdi (+ 35 V) langsomt (3 sek.) tiltagende spænding (f.eks. en savtakspænding eller en i savtakform tiltagende indhyllingskurve for en amplitude-moduleret impulsfølge).

13. Fremgangsmåde ifølge krav 12, *k e n d e t e g n e t* ved, at lagerstyreelektroden (G1) aflades (Kd) tæt ovenover det isolatorsted (V), over hvilket programmeringen (Ke) finder sted, ved påtrykning af slettespændingen mellem den yderligere styreelektrode (G2) og drænområdet (D).

14. N-kanal lagerfelteffekttransistor til udnyttelse af fremgangsmåden ifølge ethvert af de foregående krav, *k e n d e t e g n e t* ved, at dens kanal (K) er kortere end 10μ (f.eks. $1 - 5 \mu$).

15. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 14, *k e n d e t e g n e t* ved, at dens substrat (HT) udviser en specifik modstand over 1 Ohm.cm , f.eks. $3 - 10 \text{ Ohm.cm}$.

16. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 14 eller 15, k e n d e t e g - n e t ved, at dens kanal (K) udviser en af en betydelig rumlig-strukturel inhomogenitet dannet accelerationsstrækning (V).

17. Lagerfelteffekttransistor ifølge et af kravene 14-16, k e n d e t e g - n e t ved, at dens kanal (K) i uprogrammeret tilstand er af berigelsestypen (kurven G10 i fig. 2 og 5).

18. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 17, k e n d e t e g n e t ved, at der på overfladen af det p-doterede substrat (K) mellem dræn og kilde er anbragt et sammenhængende p⁺-doteret lag. (fig. 6).

19. Lagerfelteffekttransistor ifølge et af kravene 14-18 til udnyttelse af fremgangsmåden ifølge krav 1, 3 eller 4, k e n d e t e g n e t ved, at den som styreelektrode kun har den svævende lagerstyreelektrode (G1).

20. Lagerfelteffekttransistor ifølge et af kravene 14-18 k e n d e t e g n e t ved, at den har en yderligere styreelektrode (G2) med en tilslutning (A).

21. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 19 eller 20, k e n d e t e g n e t ved, at lagerstyreelektroden (G1) og drænområdet (D) overlapper hinanden stærkere end lagerstyreelektroden (G1) og kildeområdet (S).

22. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 21 til udnyttelse af fremgangsmåden ifølge et af kravene 1-4, k e n d e t e g n e t ved, at den yderligere styreelektrode (G2) er forbundet med drænområdet (D).

23. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 21 og 22, k e n d e t e g n e t ved, at dens egenkapacitet mellem lagerstyreelektroden (G1) og den yderligere styreelektrode (G2) er betydeligt højere (f.eks. fem gange højere) end egenkapaciteten mellem lagerstyreelektroden (G1) og substratet eller kanalen (K).

24. Lagerfelteffekttransistor ifølge et af kravene 14-23, k e n d e t e g n e t ved, at lagerstyreelektrodehalvlederen er p-doteret polykrystal-linsk silicium.

25. Lagerfelteffekttransistor ifølge et af kravene 14-24, k e n d e t e g n e t ved, at isolatortykkelsen (x) overstiger den værdi (450 Å), ved hvilken den opladede lagerstyreelektrode (G1) ved galvanisk forbindelse mellem lagerfelteffekttransistorens drænelektrode (D) og drænelektroden i en anden netop under programmering værende n-kanal lagerfelteffekttransistor igen vil aflades i det mindste delvis som følge af lavineeffekten. (Fig. 8 og 9).

26. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 21 eller krav 21 og et af kravene 22-25 til udnyttelse af fremgangsmåden ifølge et af kravene 7-13, k e n d e t e g n e t ved, at isolatortykkelsen (x) ligger under den værdi (1200 Å), ved hvilken de fra lagerstyreelektroden (G1) strømmende elektron-mængder (Kd) er lige så store som de fra den spærrede pn-overgang ved lagerfelteffekttransistorens hovedstrækning til dens lagerstyreelektrode (G1) på

grund af lavineeffekten strømmende hulmængder (Ke). (Fig. 8).

27. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 21 eller krav 21 og et af kravene 22-26 til udnyttelse af fremgangsmåden ifølge et af kravene 7-13, k e n d e t e g n e t ved, at lagerstyreelektroden (G1) kun dækker en over den fulde kanalbredde udstrakt, første kanaldel (K1), som indeholder eller i det mindste grænser til det sted (V) i kanalen, hvor de opvarmede elektroner (Ke) emitteres under programmering ved hjælp af kanalinjektion, og at den resterende, med den første kanaldel elektrisk serieforbundne del (K2) af kanalen er dækket af den yderligere styreelektrode (G2), men ikke af lagerstyreelektroden (G1), således at tilstanden i den første kanaldel (K1) styres såvel direkte af lagerstyreelektrodetilstanden som indirekte af tilstanden af den yderligere styreelektrode, medens tilstanden i den resterende del (K2) af kanalen kun styres direkte af sidstnævnte tilstand.

28. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 27, k e n d e t e g n e t ved, at dens lagerstyreelektrode (G1) ved siden af kanalen (K1, K2) udviser en ledende, fra substratet ved hjælp af en oxidtykfilm isoleret forbindelse (LK) til en udenfor kanalen (K1, K2) anbragt lap (L), som over en oxidtyndfilm dækker en del af kildeområdet (S) eller drænområdet (D), og at den resterende kanaldel (K2) skiller kildeområdet (S) fra den første kanaldel (K1).

29. Lagerfelteffekttransistor ifølge krav 28, k e n d e t e g n e t ved, at forbindelsen (LK) ved siden af den resterende kanaldel (K2) dækkes af en fra substratet (HT) ved hjælp af en oxidtykfilm ($10.000 \text{ \AA SiO}_2$) adskilt fortsættelse (B2) af den yderligere styreelektrode (G2), hvilken fortsættelse og den nævnte forbindelse kun er indbyrdes isoleret af en oxidtyndfilm ($600 \text{ \AA SiO}_2$). (Fig. 3).

Fremdragne publikationer:

Dansk patentansøgning nr. 6787/73
USA patent nr. 3728695.

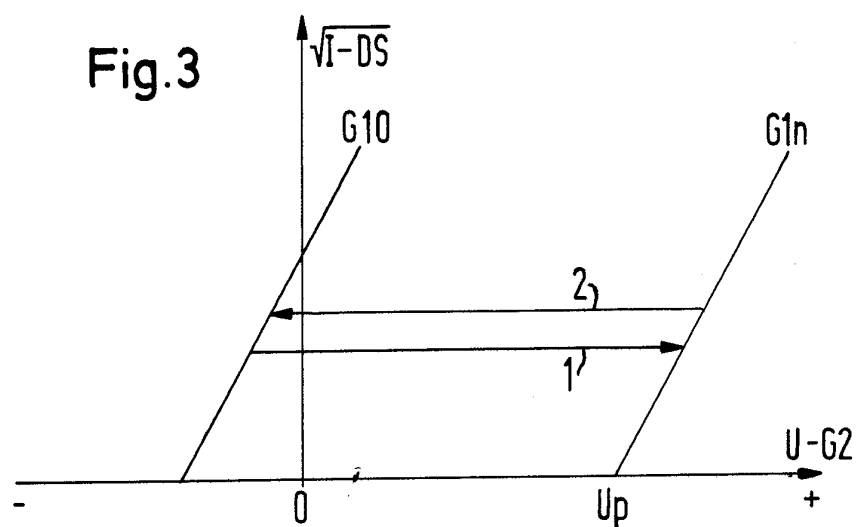
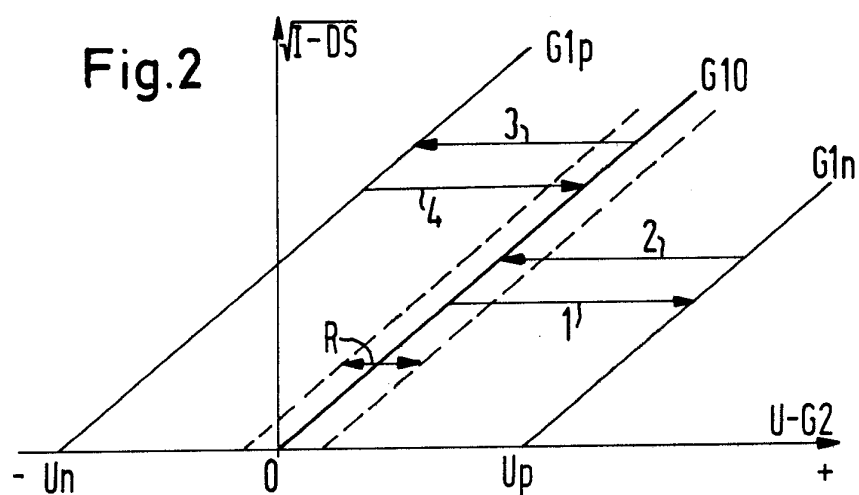
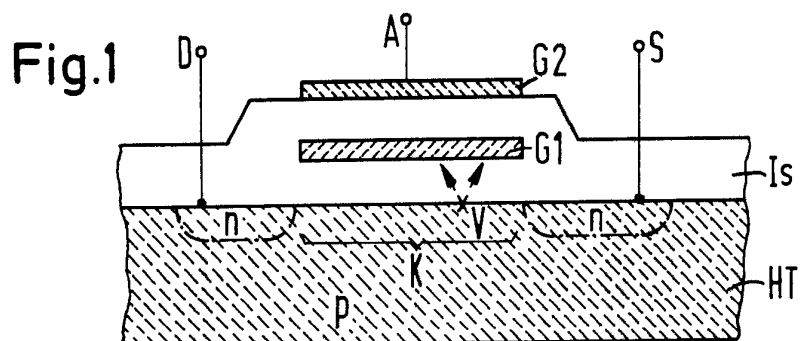


Fig.4

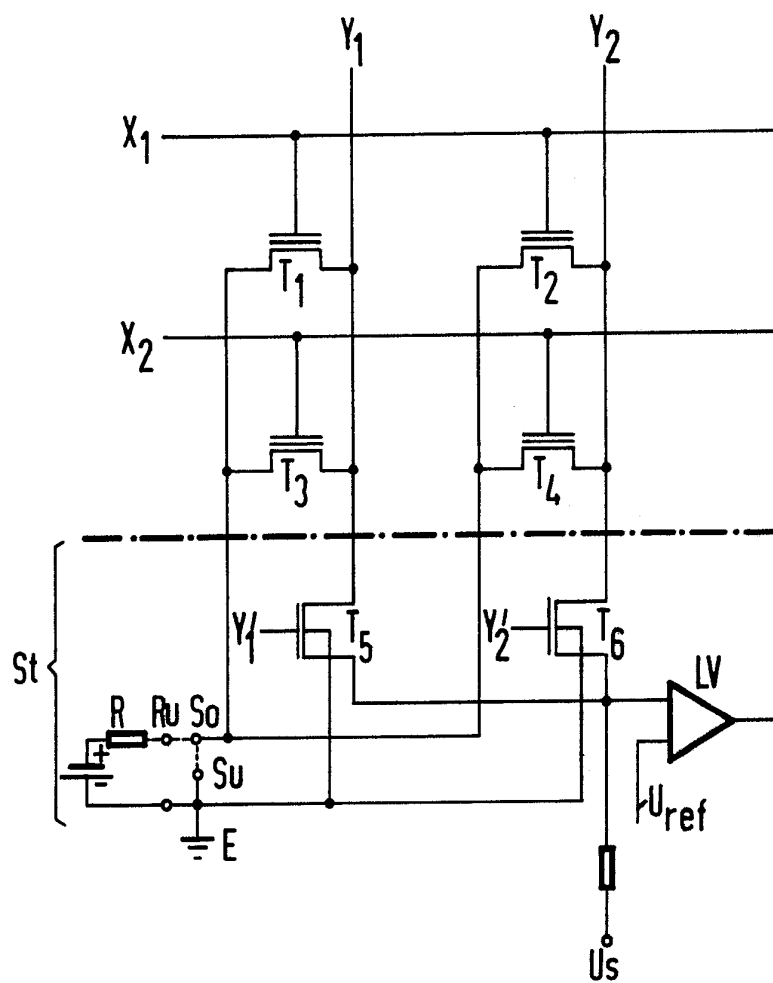


Fig.5

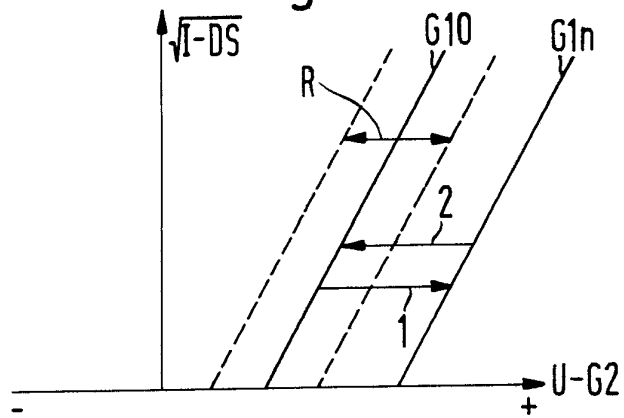


Fig.6

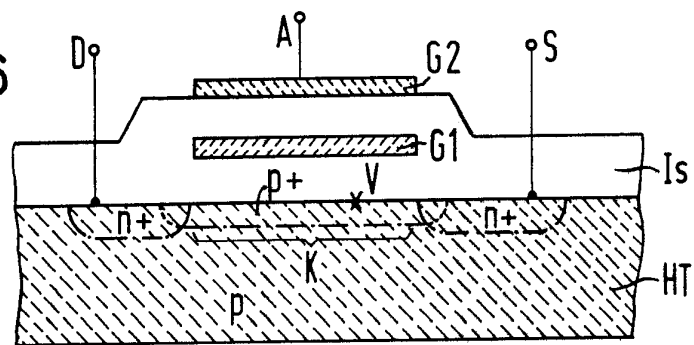


Fig.7

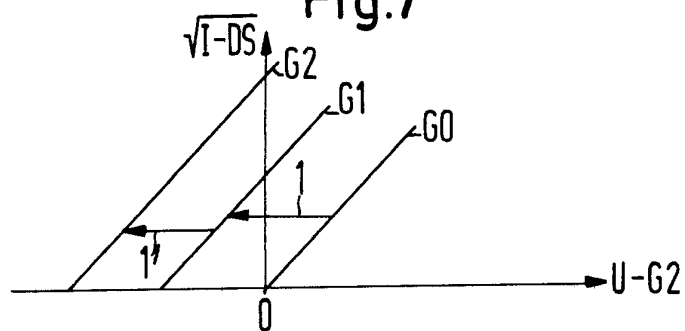


Fig. 8

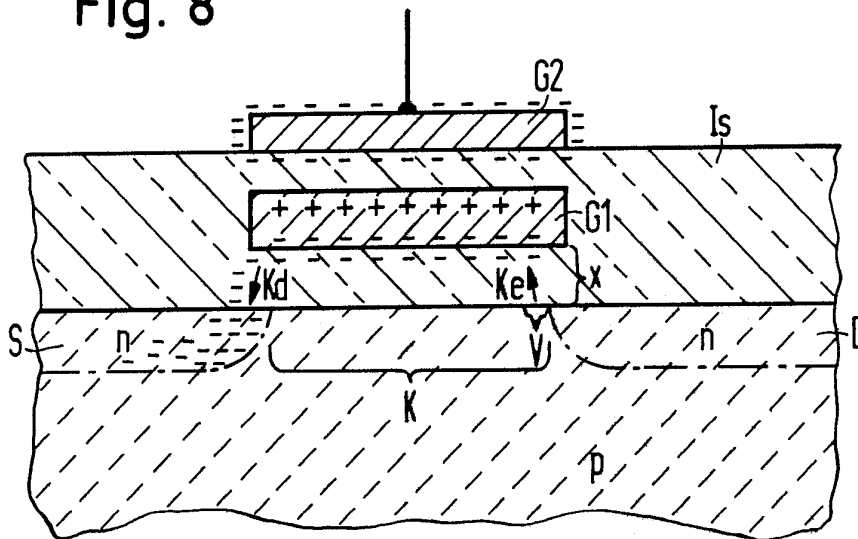


Fig. 9

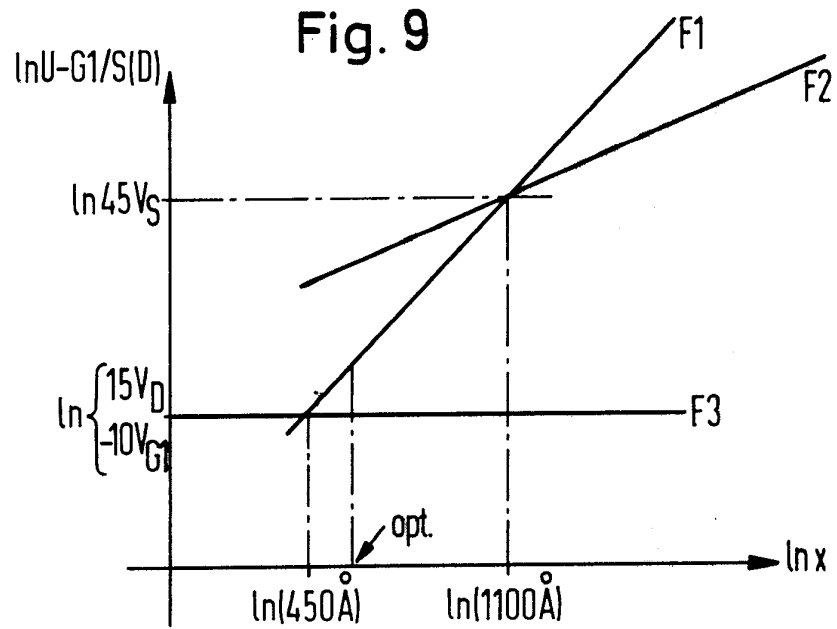


Fig. 10

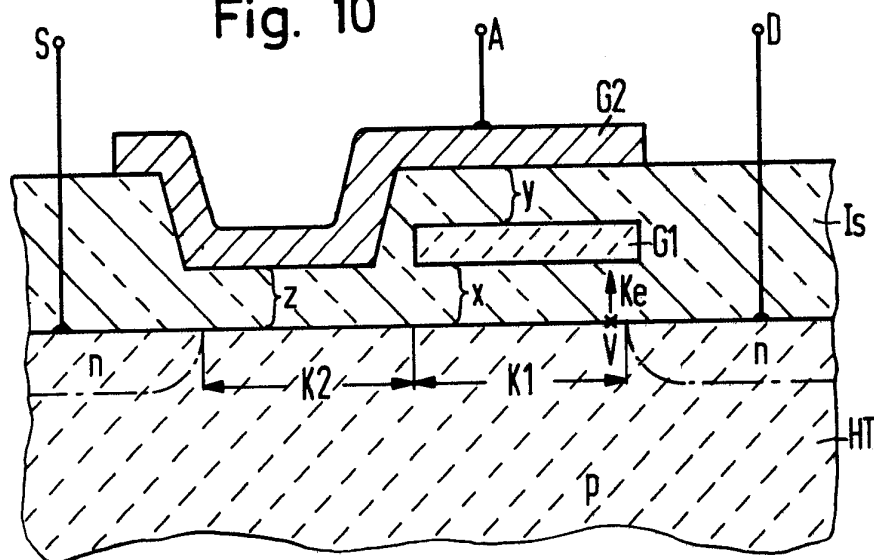


Fig. 11

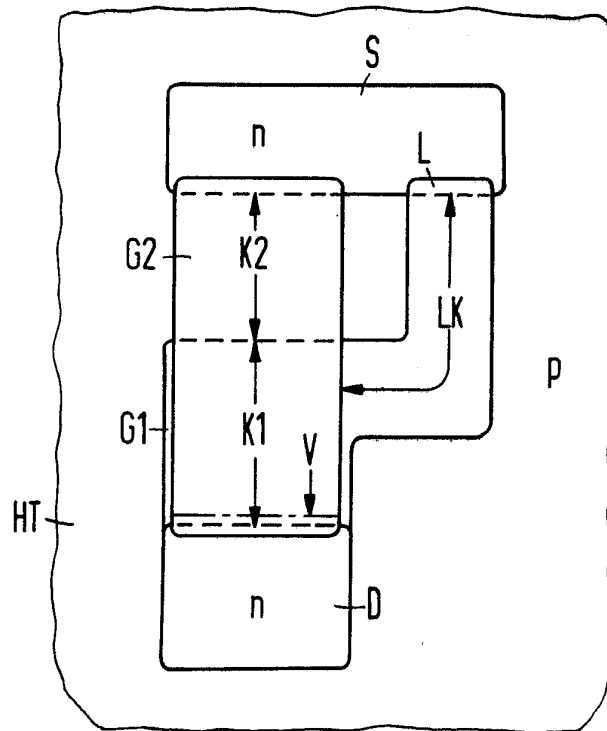


Fig. 12

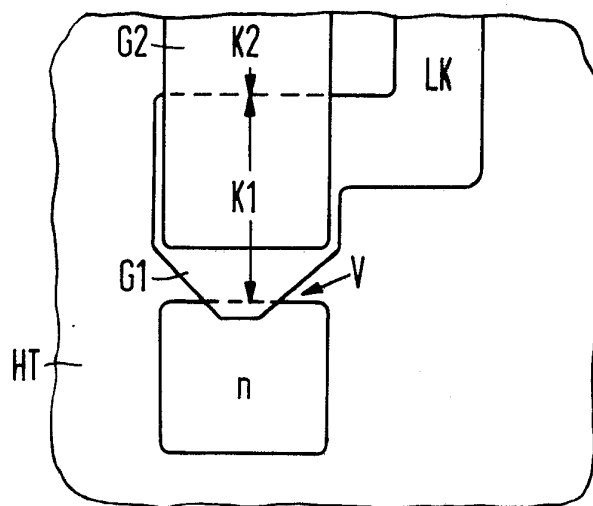


Fig.13

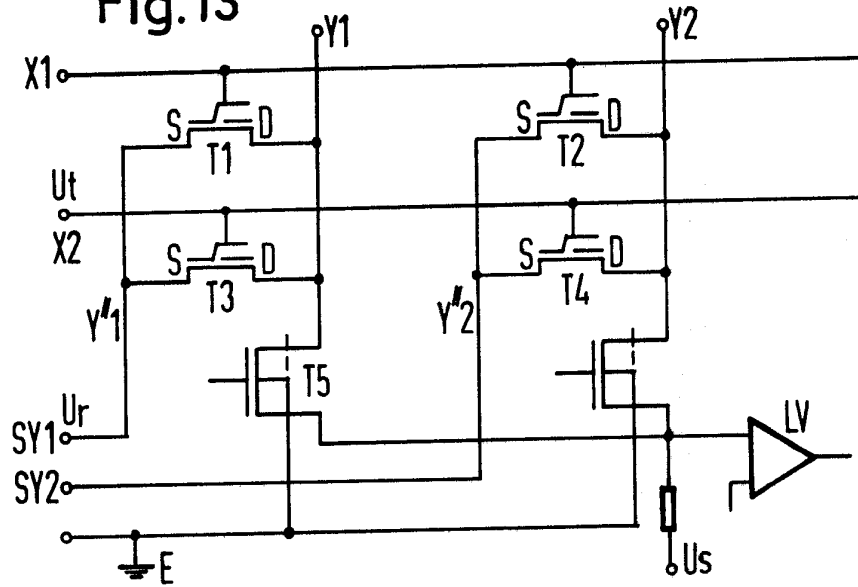


Fig. 14

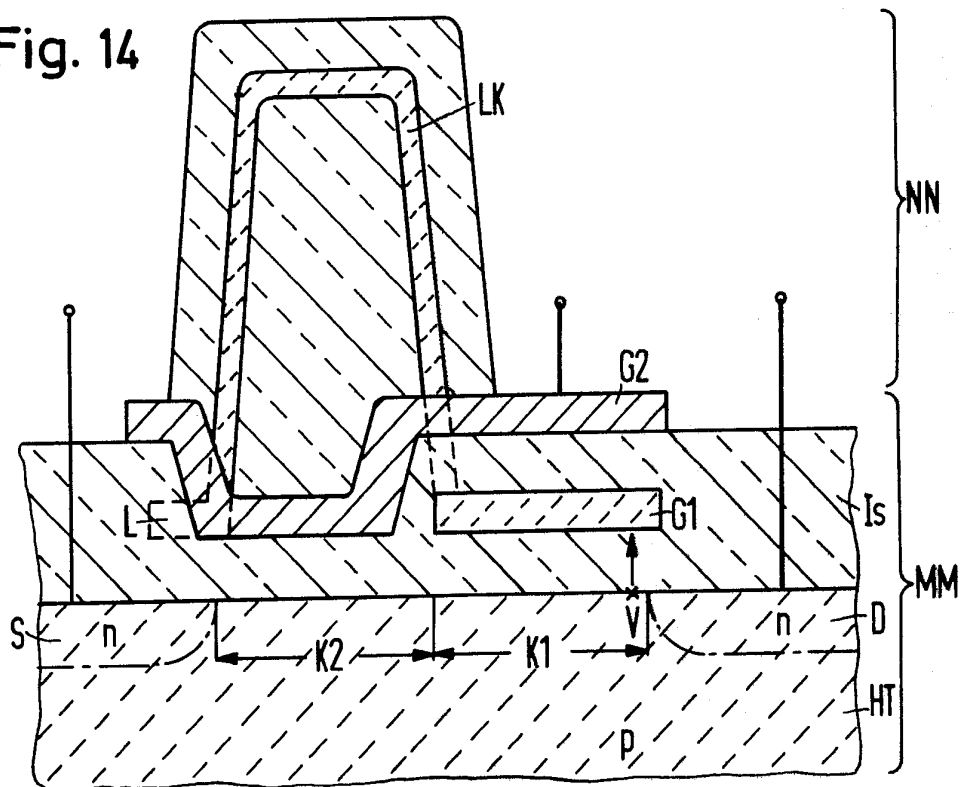


Fig. 15

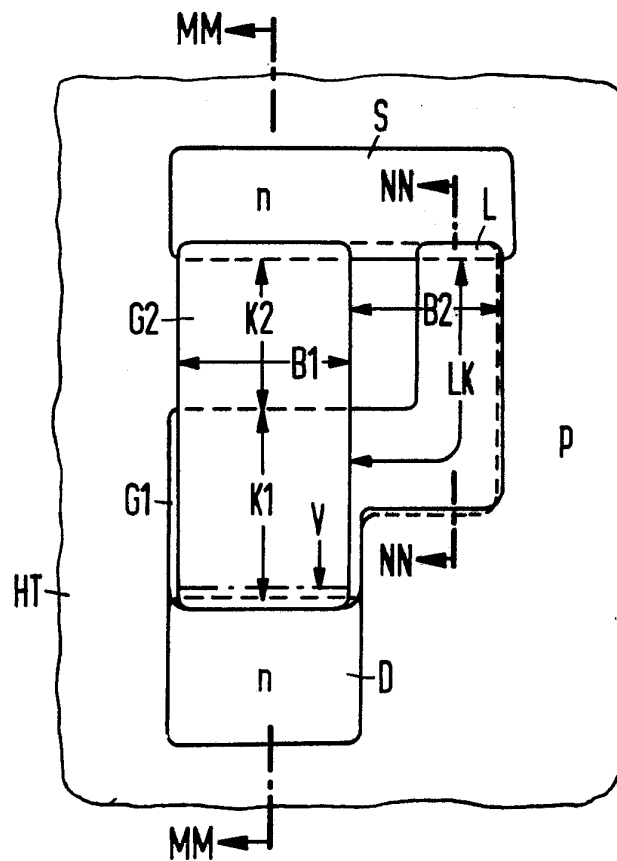


Fig. 16

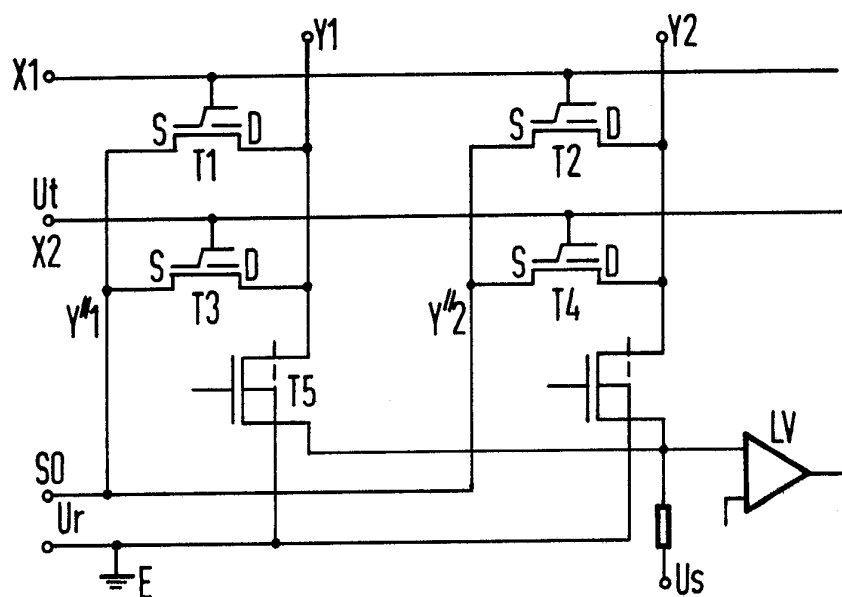


Fig. 17

