

# Nu kommer FRAM med kapacitet

Ferroelektriska RAM (FRAM) bildar en brygga mellan de traditionella halvledarteknologierna flyktigt RAM och ickeflyktigt ROM. De växer i popularitet och enligt Mike Alwais, Ramtron International Corporation, är FRAM den lämpligaste typen av ickeflyktigt minne. Här beskriver han tekniken bakom FRAM.

Ramtron har nyligen ingått ett kommersiellt tillverkningsavtal med Texas Instrument, och FRAM-teknologin har implementerats i TIs beprövade, avancerade 130 nm process. Som en följd av detta har FRAM brutit genom kapacitetsgränsen på 1 Mbit och uppnått tätheter på 4 Mbit i en fristående minneskrets (FM22L16) som redan levereras i provexemplar. Full produktionskapacitet planeras till senare i år, och Ramtron har sedan utvecklat efterföljare som nu håller på att testas.

FRAM-minnena kombinerar egenskaperna hos flyktiga RAM-minnen - som snabb access och låg effektförbrukning - med möjligheten att bibehålla lagrade data utan pålagd spänning. Andra ickeflyktiga minnen som EEPROM och flash är inte lika effektiva för inbäddning p g a flera masksteg, längre skrivtider och krav på ökad effekt vid skrivning. FRAM-minnen förbrukar dessutom mindre effekt än MRAM, och de har redan utprovats kommersiellt i fordons-, mät-, industri- och dataapplikationer.

## FYRA FAKTORER

Mer specifikt är det fyra distinkta faktorer som bidrar till att FRAM förstatas till öka i popularitet.

För det första: Till skillnad mot andra ickeflyktiga minnen, som bygger på teknologier med flytande gate och som har långa fördröjningar vid skrivning, skriver FRAM med busshastighet. Det innebär att skrivoperationer sker med samma hastighet som läsoperationer. Därför behövs det inga fördröjningar när man vill att data skall lagras ickeflyktigt. Detta kan jämföras med EEPROM, där en skrivoperation kan få



Fig 1. Ramtrons nya FRAM FM22L16 fyrdubblar minneskapaciteten till 4 Mbit.

vänta i 10 ms sedan data skrivs in i bufferten. Dessutom krävs ingen raderingsoperation med FRAM eftersom det inte finns något speciellt grundtillstånd. Så liksom med andra RAM-teknologier som SRAM kan data skrivas till minnet oavsett vilket tillstånd minnescellerna befinner sig i.

För det andra: FRAM ger i praktiken obegränsad livslängd för skrivning. Minnet slits inte ut som andra ickeflyktiga minnestyper gör. Kretsar med flytande gate slutar t ex att bibehålla data när de har raderats alltför många gånger. Detta är en form av "hard failure". En utsliten minnescell kan inte längre lagra det inprogrammerade tillståndet. FRAM utsätts inte för denna typ av förlitning.

För det tredje: FRAM arbetar utan någon laddningspump, vilket ger låg effektförbrukning. Teknologier med flytande gate kräver en hög spänning för programmeringen, vilket medför att skrivoperationer förbrukar väsentligt mer effekt än läsoperationer. FRAM skriver däremot med samma spänning som används för processorkärnan. Det kan vara 5 volt, 3 volt eller lägre för mer avancerade processer.

För det fjärde: Eftersom det handlar om en RAM-baserad teknologi passar FRAM lika bra för såväl kodetekivering som dataalagring. Men eftersom FRAM dessutom har fördelen av att vara ickeflyktigt bibehålls data även sedan spänningen kopplats bort. Därför kan FRAM potentiellt användas som en gemensam minnestyp för både kod och data, vilket kan hjälpa konstruktörerna ur det ständiga dilemman om vilken minnestyp som skall användas. Detta har alltid slutat med att man använder två olika typer - en för kod och en för data. Hitills har emellertid praktiska gränser för att använda FRAM satts av den tillgängliga minnesstätheten. Denna har utslutit användandet i många app-

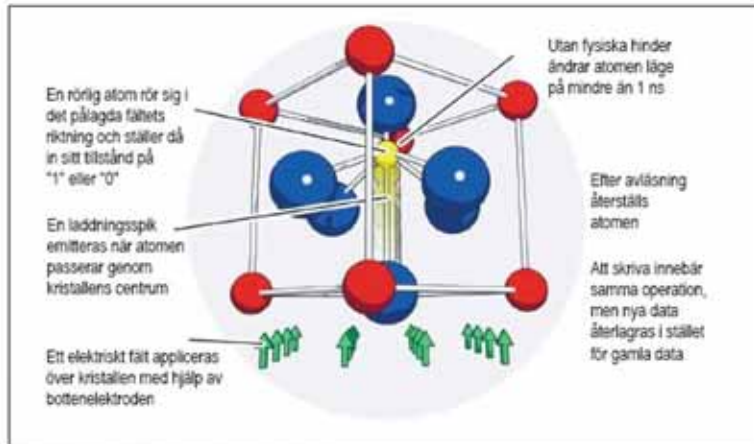


Fig 2. Arbetsprincipen för FRAM-teknologin.



Fig 3. TIs beprövade 130 nm process är ett steg framåt för FRAM-teknologin.

likationer, även om detta snabbt håller på att förändras tack vare samarbetet med TI.

## HUR FUNGERAR FRAM?

FRAM-teknologin bygger på små ferroelektriska kristaller som integrerats i en kondensator. Det gör att FRAM-kretsar kan arbeta som snabba, ickeflyktiga RAM-kretsar. Den elektriska polarisationen hos kristallerna kan ändras mellan två stabila tillstånd med hjälp av ett anbringt elektriskt fält. Riktningen hos denna elektriska polarisering avläses av interna kretsar som antingen högt eller lågt logiskt tillstånd.

Båda orienteringarna är stabila, och de förblir så även sedan det elektriska fältet tagits bort. Det gör att data bibehålls i minnet utan att detta behöver någon refresh. Den ferroelektriska tunnfilmen placeras över ett CMOS-basskikt och läggs in mellan två elektroder. Processen avslutas med förbindningar och passivering.

FRAM-teknologin har mognat väsentligt sedan den introducerades. De första FRAM-kretsarna krävde en minnesarkitektur med två transistorer och två kondensatorer (2T/2C), vilket resulterade i relativt stora cellstorlekar.

Framsteg inom ferromagnetiska material och processer ledde med tiden till att det inte längre krävdes någon referenskondensator i varje cell i minnesmatrisen.

Denna nya arkitektur, med en transistor och en kondensator, fungerade på samma sätt som i ett DRAM, d v s man använder en enda kondensator som gemensam referens för varje kolumn. Härigenom minskade den nödvändiga ytan till hälften av vad som krävdes för 2T/2C. Detta ökade i hög grad utnyttjandegraden av chipen och minskade tillverkningskostnaderna.

## MINDRE TEKNOLOGINODER

FRAM har också överfört till mindre teknologinoder för att ge ökad kostnadseffektivitet. Steget till en 0,35 µm process minskade arbeteffekten och ökade utnyttjandegraden per wafer, jämfört med Ramtrons tidigare generationer FRAM-produkter som tillverkades i företagens egna 0,5 µm tillverkningslinor.

Genom steget till TIs 130 nm process har de begränsningar av tätheten som tidigare varit typiska för FRAM nu i stort sett helt eliminerats. Härigenom har en nytt riktmärke satts upp för produk-

tion av FRAM-kretsar med hög täthet.

## TÄTARE ÄN SRAM

För att få fram det nya 4 Mbit FRAM-minnet lade TI till två extra masksteg till sin 130 nm standardprocess med kopparförbindningar. Kretsen använder de minsta kommersiella FRAM-celler som hittills visats upp, med en storlek på blott 0,71 µm<sup>2</sup>. Det betyder att det går att uppnå högre minnesstätheter än med SRAM-celler.

För att uppnå denna cellstorlek använder processen en innovativ "capacitor-over-plug"-procedur, där man ligger den ickeflyktiga kondensatorstacken direkt ovanpå W-plug-transistor-kontakten. Den ferroelektriska kondensatorn byggs upp med elektroder av indium och ett tunt ferroelektriskt skikt av PZT (bly-zirkonat-titanat).

TI placerar de ickeflyktiga minneskondensatorerna ovanför kontakterna och under det första metallskiktet i sin standardprocess med fem nivåer koppar. De 0,4 µm<sup>2</sup> stora kondensatorerna monstras ut med hjälp av en enda mask, och en andra mask ger förbindningen mellan kondensatorns topp-elektrod och metallen.

Detta tillägg av endast två masker står sig mycket väl i jämförelse med de fem till sju masker som krävs av många andra minnes-teknologier. Detta gör FRAM till en idealisk lösning för inbäddat, ickeflyktigt minne. Den tillagda FRAM-processen har nästan ingen inverkan alls på den underliggande CMOS-teknologin. Det betyder att man får full tillgång till TIs rikhaltiga bibliotek med standardceller.

## SVAR KONKURRENT

Enligt dr Ted Moise som har ansvar för FRAM-utveckling på TI ger den nya processen "kostnads-, effekt- och prestandavärden som det kommer att bli svårt för andra ickeflyktiga minnes-teknologier att matcha".

Ramtrons 4 Mbit parallell-FRAM FM22L16 är den första kretsen som lämnar linan. Det har konstruerats för att direkt kunna sättas in i socklar för 256 kbit x 16 SRAM, och 16x-gränssnittet och ATD-accessmoden möjliggör sömfri anslutning till ett antal olika MCU-kretsar. Tack vare separat styrning av övre/lägre bit kan kretsen enkelt integreras i 8-bitssystem.

FM22L16 är pinkompatibelt med 4 Mbit SRAM och den utförd i en grön kapsel av typ TSOP-II. Med en cykeltid på 110 ns är FM22L16 Ramtrons snabbaste parallellminne. Och med en 4-ords tidmod kan medelaccess-tiden gå ned till 55 ns. Liksom alla FRAM-kretsar sker skrivning med bussens hastighet, och resultatet är genast ickeflyktigt.

Vid full hastighet drar FM22L16 bara 18 mA. Standbyströmmen är typiskt 150 µA. Om kretsen sätts i sömnläge är förbrukningen blott 5 µA. Det gör FM22L16 till ett attraktivt ickeflyktigt minne för batteridrivna system.

MIKE ALWAI, RAMTRON INTERNATIONAL CORPORATION