

BAB 2

MICROELECTROMECHANICAL SYSTEM (MEMS) DALAM SISTEM KOMUNIKASI

2.1 MEMS

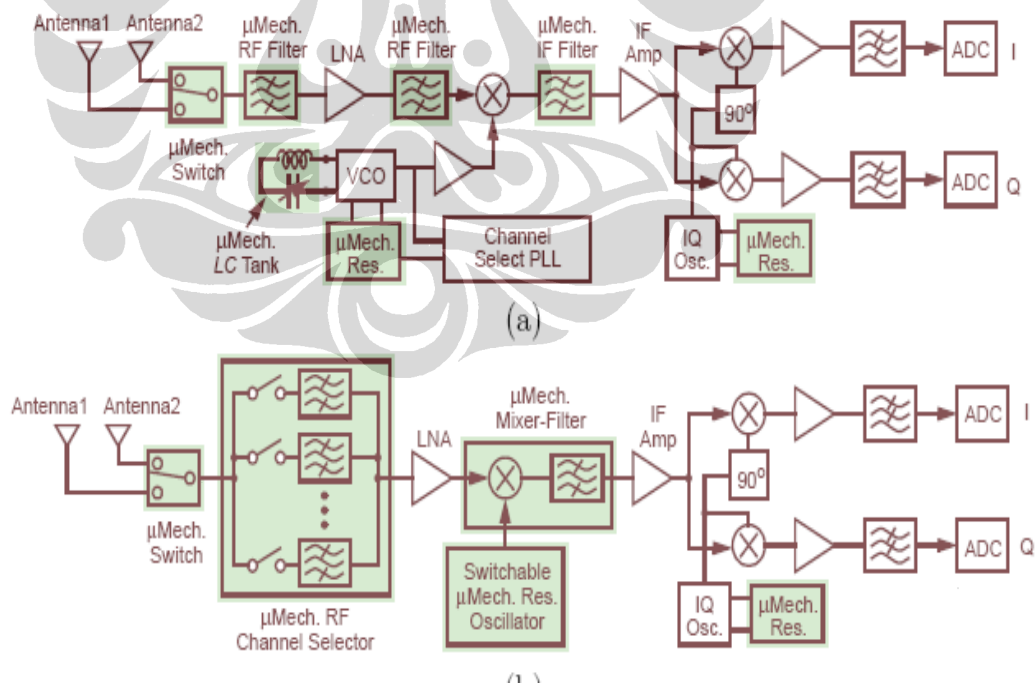
Membuat mesin kecil yang hampir tak terlihat, telah menjadi salah satu impian manusia. Pada tahun 1960, Richard P. Feynman seorang peraih nobel fisika 1965 telah memberikan pidato tentang 'Ada Banyak Ruang di bagian bawah' (Feynman 1992, 1993). Dia berbicara tentang masalah memanipulasi dan mengendalikan hal-hal dalam skala kecil. Lebih jauh, Feynman memberi contoh sistem biologis yang sangat kecil seperti sel-sel.[6] Dan impian ini sebagian telah terwujud dengan adanya teknologi MEMS (*Microelectromechanical systems*).

Microelectromechanical systems (MEMS) didefinisikan sebagai sebuah miniatur perangkat atau susunan perangkat yang menggabungkan komponen elektrik dan mekanik dengan menggunakan teknik proses *batch integrated circuit (IC)* [9]. MEMS pada dasarnya adalah sebuah sistem mekanik dalam bentuk miniatur yang sangat kecil dan dapat mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis, demikian pula sebaliknya. MEMS terlihat seperti rangkaian cip (*integrated circuit*) biasa, tetapi di dalamnya terdapat sistem mekanik dengan sebuah massa yang sangat kecil, batang dan pegas yang bergerak. Massa pada sebuah alat MEMS giroskop, misalnya, hanya berbobot delapan per sejuta gram. Massa ini digantung hanya berjarak dua mikron (dua per sejuta meter) dari rangkaian elektroniknya. Pembuatan sistem mekanik kecil tersebut dimungkinkan dengan adanya teknologi produksi semikonduktor. Sebuah proses fotolitografi yang dapat membuat transistor berukuran sangat kecil dapat juga digunakan untuk membuat batang berukuran sangat kecil, pegas, dan struktur mekanik lainnya. Beberapa aplikasi MEMS yang sedang dikembangkan saat ini adalah dalam bidang kedokteran dan farmasi, otomotif, peralatan elektronik, fotografi, dan aplikasi lainnya

Masalah MEMS ditekankan sejak pertemuan Transducer '87 di Tokyo, Jepang, di mana banyak ide-ide untuk struktur permukaan micromachined dan aktuator disajikan. Bagaimana produk teknologi dibidang ini mulai dikomersialkan seperti *accelerometers* dan *gyroscopes*, *display projection*, dan

mikrofluida dan bagaimana pertumbuhan yang fenomenal dalam bidang MEMS serta aplikasinya juga dibahas yang semuanya dari DNA *sequencing* dan *switch* optik untuk kontrol aerodinamis pesawat terbang dan komunikasi nirkabel system (Gabriel,1998)[6] . Sebagian besar dari sistem transceiver saat ini digunakan dalam aplikasi frekuensi radio (RF) dan intermediate frekuensi (IF) yang memanfaatkan sejumlah komponen resonan,seperti kuarsa-kristal, keramik, dan gelombang akustik permukaan (SAW) filter. Komponen ini memiliki kinerja yang sangat baik dalam hal faktor kualitas Q, ketergantungan termal, dan stabilitas. [9]

Evolusi teknologi MEMS dan tercapainya Q yang tinggi dengan micromechanical resonator memberi peluang untuk mendesain filter yang lebih selektif sehingga tercipta suatu miniature komponen dan integrasi on-chip dengan component IC lain. [10,11,12]. Selain lebih praktis dibanding dengan komponen diskrit, resonator memiliki kemampuan untuk mengkonversi frekuensi (mixing) dan switching serta konsumsi daya DC yang sangat kecil praktis mendekati nilai nol sehingga memberikan keuntungan dalam penghematan daya. [13].



Gambar 2.1 *Front end RF* saluran transmisi [15]

Sebuah arsitektur *receiver* yang menggunakan circuit micromechanical untuk merealisasikan sebuah *front end RF* saluran transmisi diperlihatkan pada Gambar 2.1a di antara komponen pasif seperti switch antenna, RF dan IF filter, inductor dan kapasitor serta resonator untuk osilator. Dalam sebuah telepon seluler komponen-komponen ini menempati 80% dari papan rangkaian 50% daya dan 30 % dari keseluruhan biaya.[14]. Dengan teknologi MEMS arsitektur alternatif seperti pada Gambar 2.1b dapat dirancang yang terdiri atas antena, band pass filter dan RF switch, mixer dan IF filter yang dibentuk dari micromechanical resonator serta *micromechanical circuit* lainnya dengan *loss* kecil sehingga tidak dibutuhkannya lagi low noise amplifier (LNA) dan transistor mixer .[15]

2.2 Aplikasi MEMS Resonator dalam Sistem Komunikasi

2.2.1 Osilator

Untuk setiap aplikasi komunikasi, stabilitas sinyal osilator yang digunakan untuk penjabaran frekuensi, sinkronisasi atau sampling sangat penting . Osilator frekuensi harus stabil terhadap variasi suhu, terhadap proses penuaan, dan terhadap segala fenomena, seperti kebisingan yang menyebabkan fluktuasi sesaat di fase dan frekuensi. Parameter yang paling penting yang menentukan stabilitas osilator adalah faktor kualitas Q dari resonator yang digunakan. [7]

Secara tradisional, kinerja osilator yang tinggi dikendalikan tegangan (VCOs), tetapi memiliki keterbatasan disebabkan tidak tersedianya varactors on-chip berkualitas tinggi. Karena varactors on-chip yang tersedia di pasaran memiliki rentang tuning rendah dan Q yang rendah sehingga banyak upaya yang bertujuan untuk menerapkan mikroelektromekanik yang memiliki Q yang tinggi untuk mengatasi kekurangan ini telah dilakukan.

2.2.2 RF Switch

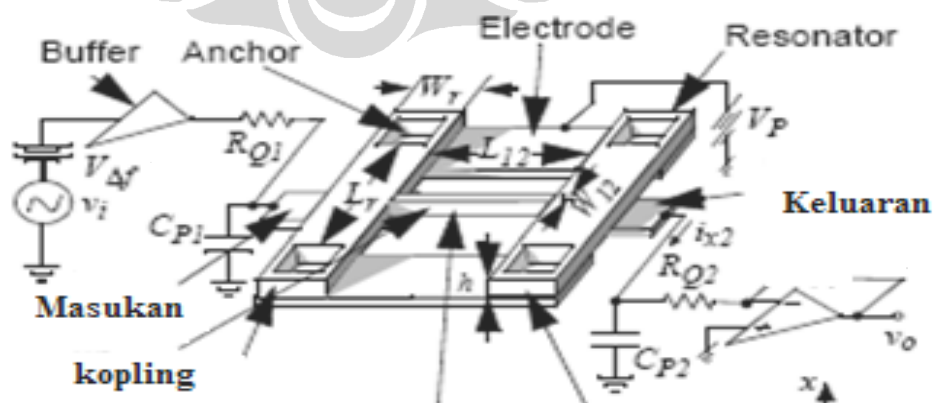
Microelectromechanical sistem (MEMS) memiliki sifat mekanik yang unik yang berguna yang memfasilitasi pembuatan miniatur komponen perangkat mekanis presisi tinggi. Kemajuan teknologi MEMS pada akhir abad dua puluh memungkinkan merancang dan membuat micromechanical switch. Perkembangan

MEMS switch substrat-independen bisa memperkenalkan terjangkau microwave komponen dan sistem ke pasar, dengan peningkatan dramatis baik dalam kinerja dan biaya. Switch MEMS yang pertama dipublikasikan adalah switch oleh Petersen (1978, 1979) yang dibuat pada silikon, dengan elektrostatis bergerak membran SiO₂ sebagai komponen switching.[7]

2.2.3 Filter

Filter mikroelektromekanik dengan Q yang tinggi telah banyak digunakan secara luas dalam sistem komunikasi dan radar. Prinsip dasar dari filter MEMS yaitu energi listrik diubah menjadi suatu bentuk energi mekanik seperti getaran pada transduser elektromekanis di sisi input filter. Energi mekanik ini disebarluaskan ke transduser elektromekanis yang mengubah kembali ke dalam domain listrik, menggunakan saluran transmisi bentuk mekanik. Perangkat filter MEMS memiliki ukuran yang sangat kecil (skala mikrometer) dan dapat beroperasi pada frekuensi tinggi dan bisa memiliki Q lebih dari 1000 [7]. Filter dan resonator berdasarkan prinsip-prinsip gelombang akustik permukaan (gergaji) dapat menyediakan perangkat dengan Q tinggi untuk frekuensi hingga 2 GHz (Campbell, 1983). Perangkat ini terdiri dari transduser interdigitated (IDT) yang meluncurkan permukaan gelombang akustik pada substrat piezoelektrik dimana frekuensi sangat tergantung terhadap rancangan filter yang digunakan.

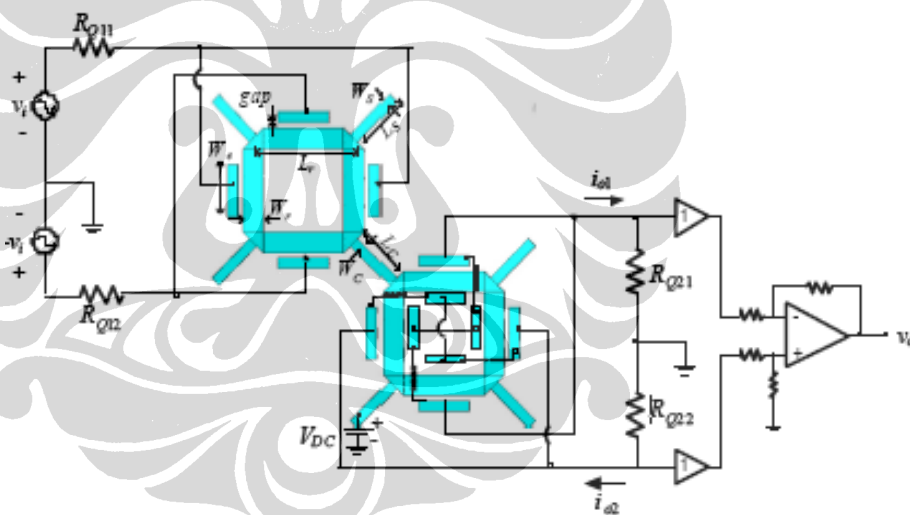
2.3 State of the art Resonator Filter



Gambar 2.2 Filter MEMS dua resonator dengan $L=4\mu\text{m}$, $W=2\mu\text{m}$ dan $H=2\mu\text{m}$ [16]

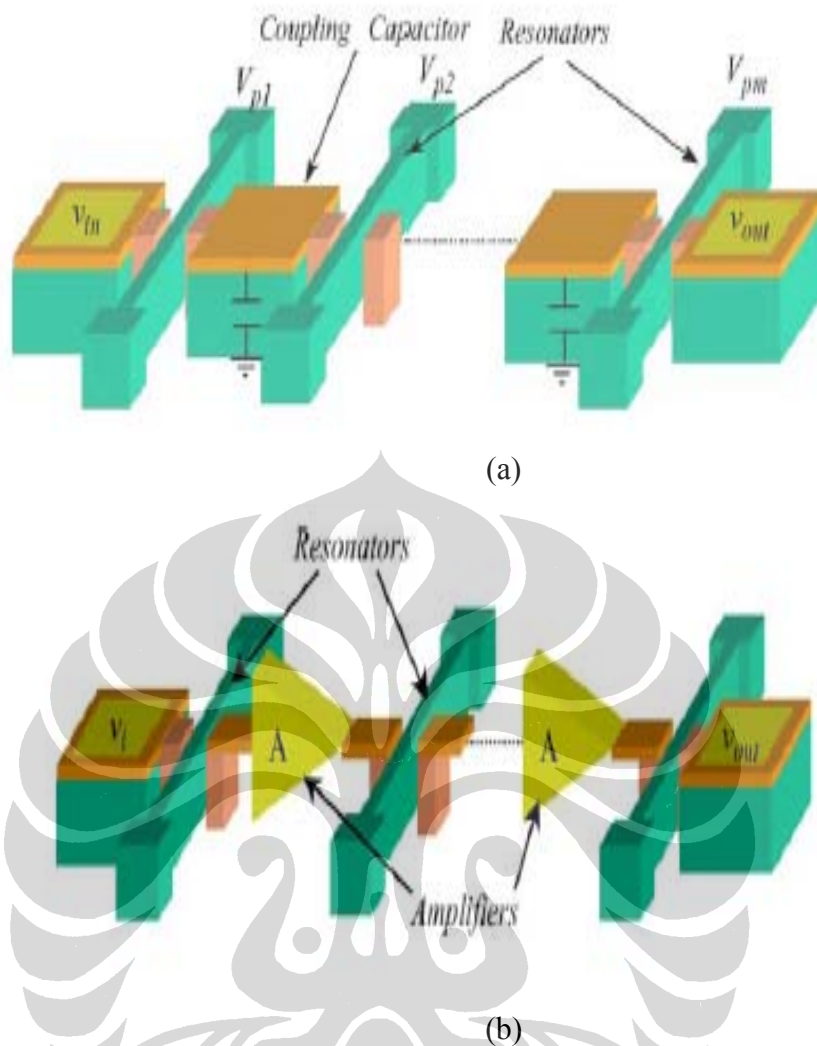
Kinerja filter MEMS dari dua dan tiga resonator dengan frekuensi pusat mulai dari 300kHz sampai 10 MHz dan faktor kualitas (Q) filter sebesar 100-2400 dikembangkan *Clark T.-C. Nguyen* [16] rancangan filter ditunjukkan pada Gambar 2.2 .

Farshad Babazadeh dan *Sayyed-Hossein Keshmiri* dalam [17] merancang sebuah bandpass filter yang terbuat dari IC-microelectromechanical yang terbentuk dari dua resonator persegi yang identik untuk rentang frekuensi menengah dari sistem komunikasi nirkabel menggunakan *flexural mode* dan dapat diimplementasikan baik menggunakan *epitaxial polysilicon technology* atau *bulk micromachining* dari SOI wafer. Resonator dengan rancangan dan struktur baru menentukan pusat frekuensi sedangkan *spring* mekanik menentukan bandwidth filter. Frekuensi pusat filter sekitar 72 MHz, bandwidth 285 kHz dengan faktor quality (Q) 250.



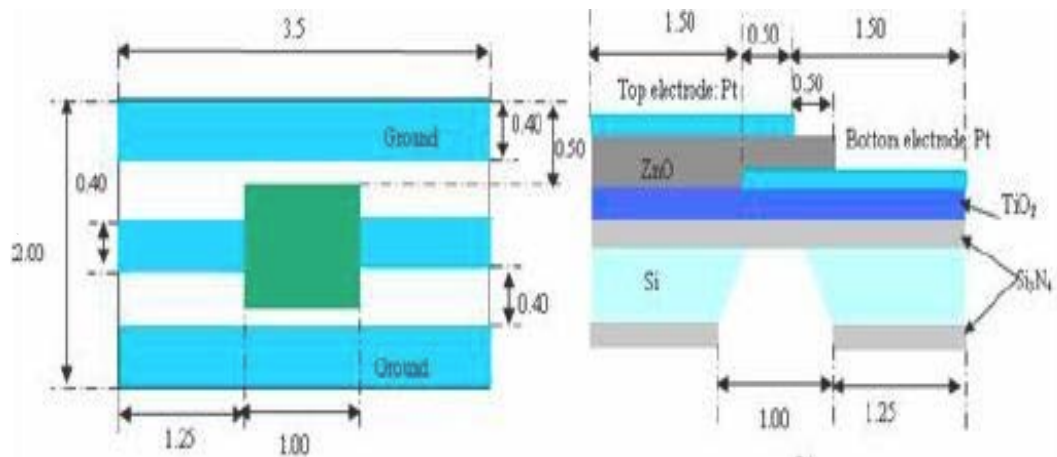
Gambar 2.3 Skema filter yang dibentuk dari dua resonator persegi yang identik [17]

Bandpass filter dengan faktor kualitas (Q) 1500 pada frekuensi operasi 810 KHz yang dibentuk dari resonator micromechanical dengan coupling electrical. (18) diperlihatkan pada Gambar 2.4a dan 2.4b



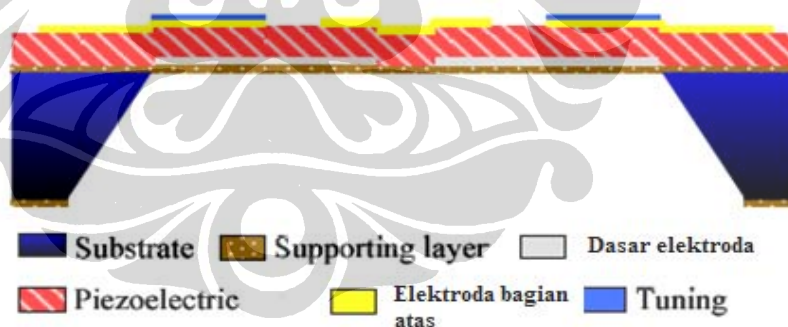
Gambar 2.4 Diagram micromechanical filter array (a) dengan coupling capacitor (b) dengan coupling amplifier. [18]

D. Wei, Y. Li, dan J. Zhao.[18] merancang TFBAR filter untuk system WiMAX dengan frekuensi tengah resonansi 2,2 GHz dan *bandwidth* 200 MHz seperti pada Gambar 2.5. Dalam divais ini, ZnO digunakan sebagai lapisan piezoelektrik. Sinyal RF yang diaplikasikan di ujung-ujung divais menghasilkan gerak mekanis dalam ZnO. Resonansi dasar dari material diamati ketika ketebalan film sama dengan setengah dari panjang gelombang sinyal input. Pada kondisi resonansi, impedansi elektris dari divais berubah secara tajam, menghasilkan kemungkinan untuk mendesain filter penyeleksi frekuensi.



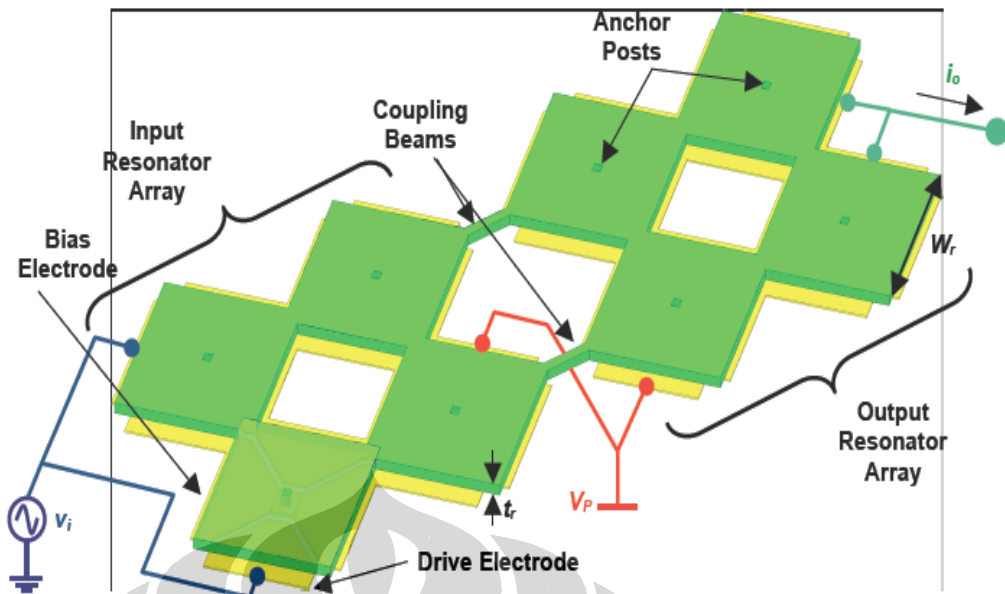
Gambar 2.5 Rancangan filter FBAR 2,2 GHz [19]

Penelitian [20] mengungkapkan realisasi filter bandpass RF 5,4 GHz dengan pusat frekuensi 5406 MHz, bandwidth 70 MHz, *insertion loss* -10 dB, *return loss* -18 dB, dan stopband redaman -36 dB, dan ukuran 0,74 mm × 0,4 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 Filter ini menggunakan teknologi bulk film akustik gelombang resonator (FBAR). Hal ini dapat diterapkan untuk jaringan sensor sistem nirkabel. Selain itu, juga dapat diaplikasi untuk 802.11n wireless dan sistem WiMAX



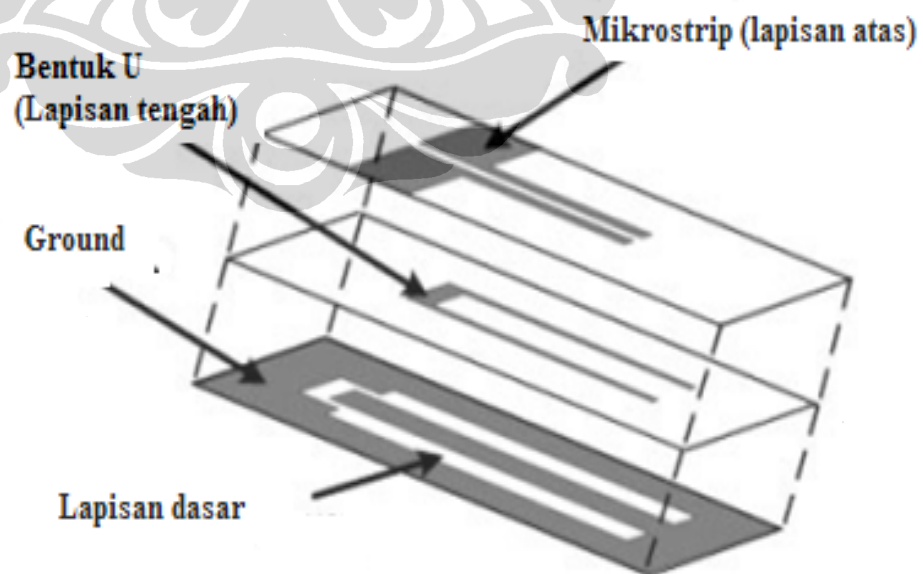
Gambar 2.6 Struktur filter FBAR 5,4 GHz [20]

John R. Clark, Minfan Pai, Barry Wissman, Guohong He, Wan-Thai Hsu merancang filter dari susunan resonator bentuk persegi. Gabungan filter ini ditunjukkan untuk mendapatkan pengurangan gerakan impedansi dimana dari hasil pengukuran disimpulkan pengurangan hampir mendekati N kali dengan penggabungan N resonator tanpa mengurangi faktor kualitas yang mencapai 10.000. Susunan resonator diperlihatkan pada Gambar 2.7[21]



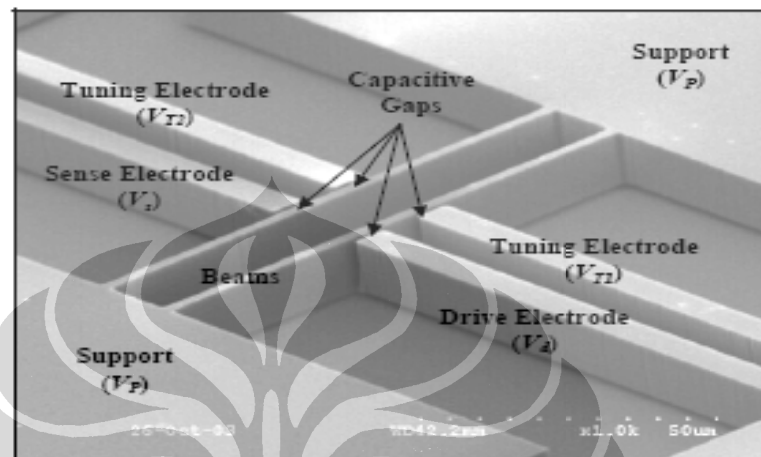
Gambar 2.7 Filter dari susunan resonator bentuk persegi [21]

Gambar 2.8 adalah sebuah bandpass filter ultra wideband (UWB) yang dirancang dengan struktur tiga lapisan. Penolakan tajam dari frekuensi yang tidak diinginkan diperkenalkan dengan menambahkan resonator bentuk U pada lapisan tengah. BPF UWB yang diusulkan [22] adalah dibuat dari substrat bahan FR4 dengan permitivitas 4,4 dan ketebalan 0,8 mm. Total daerah adalah 8 mm x 6 mm dengan frekuensi tengah 5,8 GHz.



Gambar 2.8 Struktur BPF UWB mikrostrip lapis tiga [22]

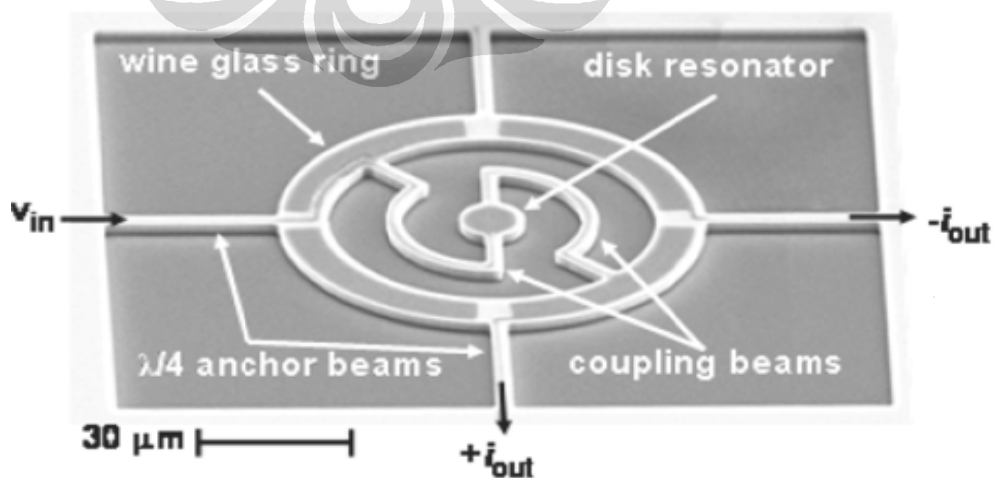
Sebuah konsep untuk menerapkan micromechanical filter tersusun tanpa elemen kopling seperti pada Gambar 2.9, menghasilkan persentasi bandwidth yang kecil dijelaskan untuk orde dua filter diperoleh frekuensi tengah resonansi 1.72 MHz dan faktor kualitas 12.000 (0.008% BW) dari sebuah susunan filter dengan dua buah *cc-beam* resonator ukuran $100\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ [23]



Gambar 2.9 SEM dari filter yang terdiri dari 2 *cc-beam resonator* tanpa kopling[23]

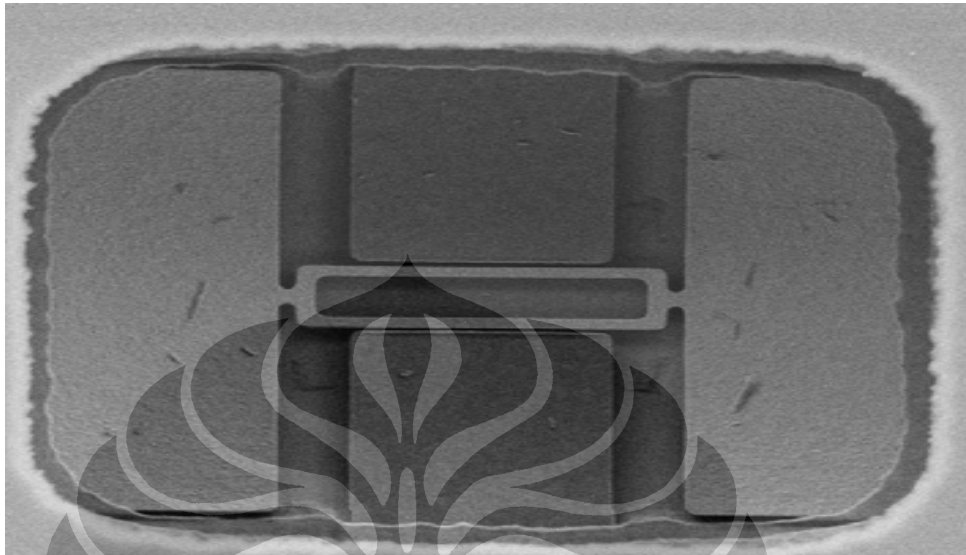
Dana Weinstein dkk [24] merancang filter dengan sebuah masukan tunggal untuk menghasilkan keluaran 425MHz frekuensi tengah resonansi elektromekanik dengan bandwidth 1MHz (BW), 8dB *insertion loss*, *pass-band ripple* <5dB, dan *rejection stop band* -50dB dengan bentuk seperti pada Gambar

2.10



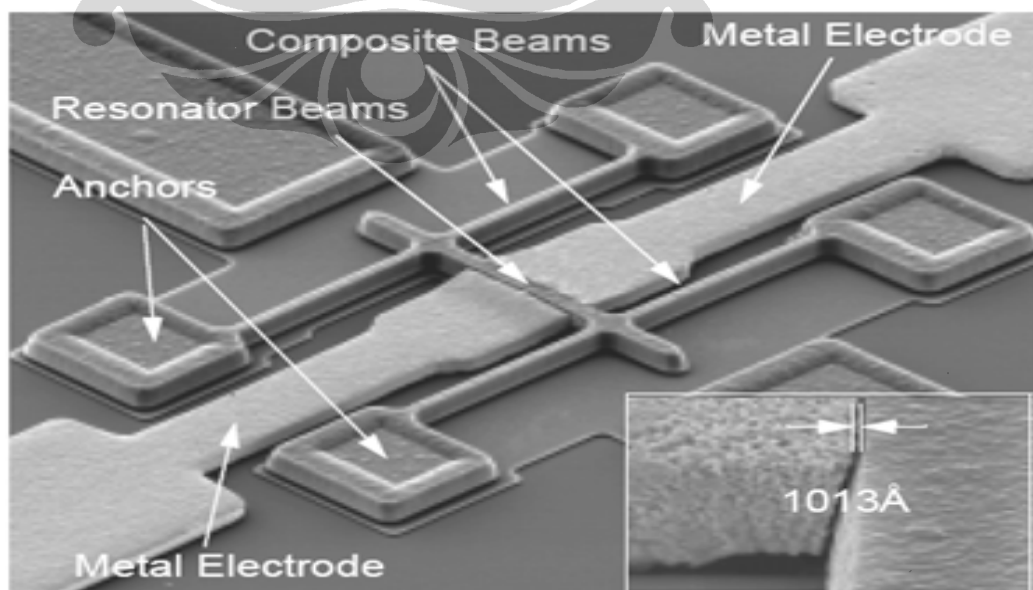
Gambar 2.10 Disk resonator filter dengan masukan tunggal [24]

Sebuah bandpass filter untuk VHF dengan metode DETF (*Double-Ended Tuning Fork*) MEMS resonator yang dipabrikasi berdasarkan standar teknologi CMOS .



Gambar 2.11 SEM DETF MEMS bandpass filter [25]

Struktur DETF filter diperlihatkan pada Gambar 2.11 dengan $L=8.7\mu\text{m}$, $W=470\text{ nm}$, $W_{da}=400\text{ nm}$, $L_s=400\text{ nm}$ and $W_s=700\text{ nm}$ dimana jarak *gap* 100nm, bandpass filter ini menghasilkan frekuensi tengah resonator 44,4 MHz.[25]



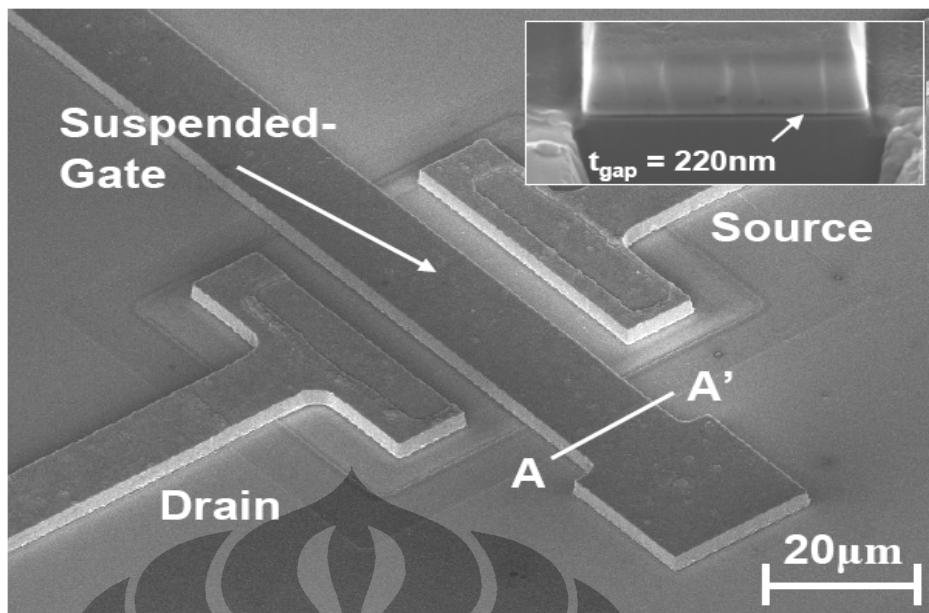
Gambar 2.12 SEM *ff beam suspended* resonator [26]

Free-free suspended resonator digambarkan pada Gambar 2.12 dengan empat penyangga (*anchor*), yang memiliki frekuensi resonansi 22.474 MHz. Batang penyangga dirancang sedemikian rupa sehingga komposit sinar (kombinasi dua dukungan balok) beresonansi dalam mode kedua pada frekuensi modus dasar *ff-beam*, hal ini menekan kerugian energi dari batang resonator ke penyangga sehingga memungkinkan dukungan dan resonator untuk mencapai faktor kualitas (Q) yang tinggi.[26]. Sedangkan Gambar 2.13 merupakan Gambar contoh lain *free-free (FF) beam* resonator berbahan silicon dengan dimensi panjang (L) 140 μm , lebar (W) 10 μm , tebal (H) 10 μm , dan *gap* 1.1 μm yang membangkitkan frekuensi resonator 13,1MHz [27].

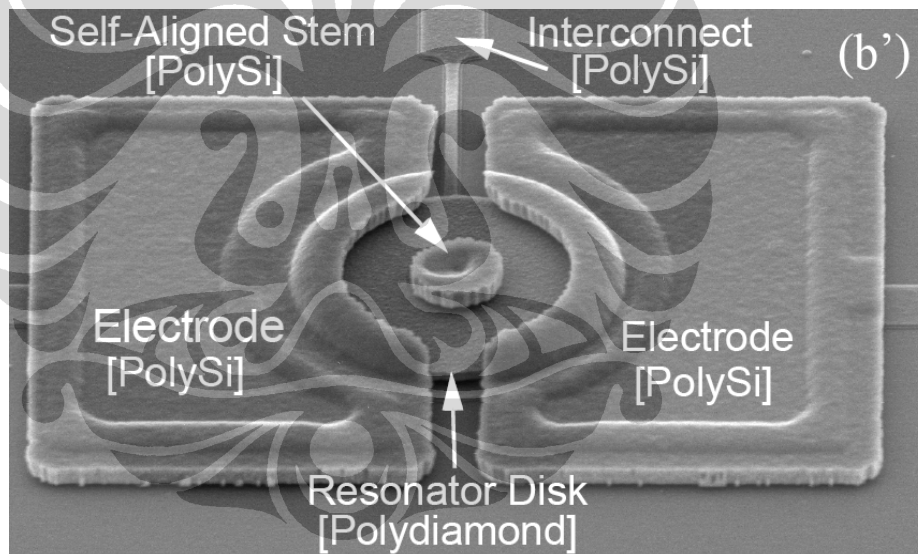


Gambar 2.13 *Free-free* resonator [27]

Gambar 2.14 menggambarkan sebuah RSG MOSFET AlSi dengan ukuran panjang 34 μm , lebar 6 μm , tebal 1,8 μm dan *gap* 300nm dengan lebar dan panjang MOSFET 30 μm /4 μm dan tebal lapisan insulator (SiO_2) 40 nm yang menghasilkan frekuensi resonansi 7, 26 MHz. (4)



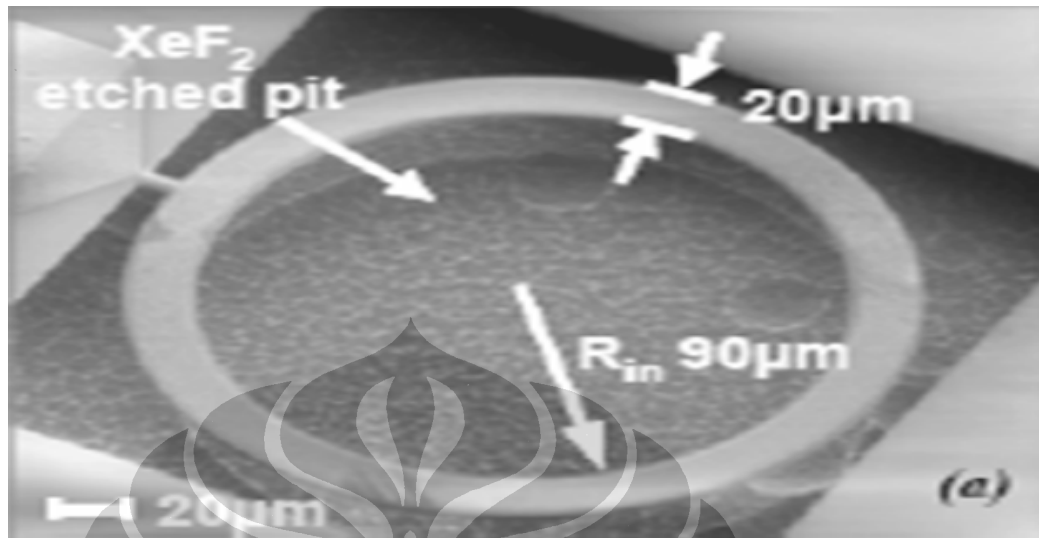
Gambar 2.14 RSG MOSFET AlSi [4]



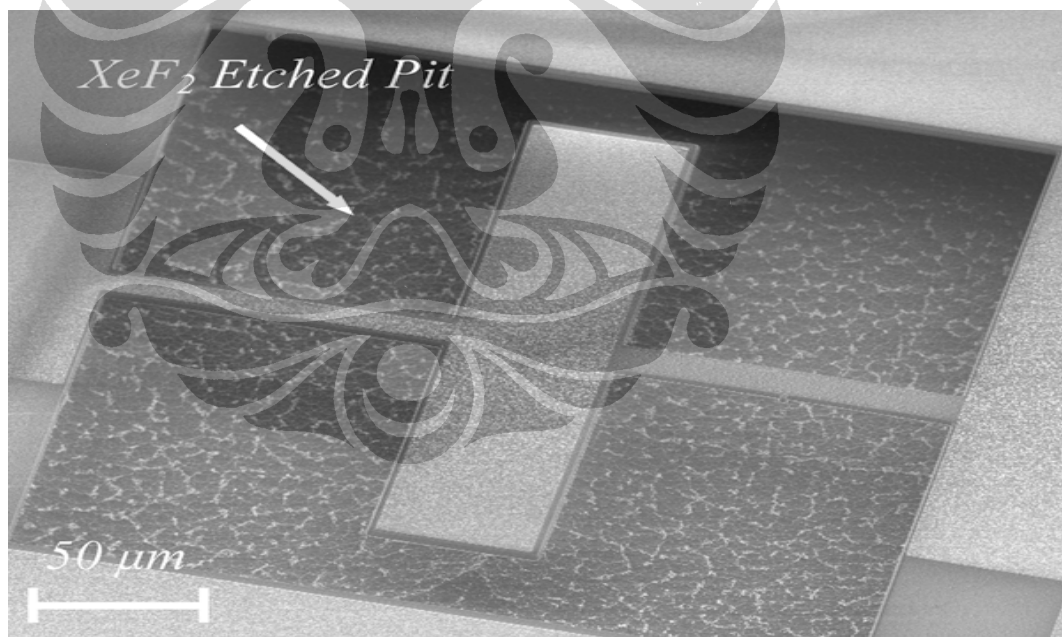
Gambar 2.15 Disk polydiamond resonator [28]

Disk resonator dengan tebal $3\mu\text{m}$ dan diameter pusat resonator polydiamond dirancang mulai dari $1,6\mu\text{m}$ sampai $2\mu\text{m}$ dan diameter disk resonator dari $16\mu\text{m}$ sampai $24\mu\text{m}$ dan jarak elektroda ke resonator (gap) 90nm dalam [28] dengan struktur diperlihatkan pada Gambar 2.16. Hasil rancangan dengan diameter pusat $1,6\mu\text{m}$ dan diameter disk $22\mu\text{m}$ menghasilkan frekuensi

resonator 497,6 MHz dan faktor kualitas (Q) 55.300 jika diukur dalam keadaan hampa udara dan 33.550 (udara).



Gambar 2.16 Resonator ring AlN [29]



Gambar 2.17 Resonator AlN segiempat [29]

Gambar 2.17 merupakan resonator pelat AlN segiempat dengan ukuran $200\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ menghasilkan frekuensi resonator 19,96 MHz dan Q sebesar 2700.