

전자식 주행안전 장치를 위한 각속도 센서 개발

김병우[#]

Development of Angular Rate Sensor for an Electronic Stability Program

Byeong Woo Kim[#]

ABSTRACT

The vehicle dynamic control system needs to detect the yaw rate of vehicle and a yaw rate sensor is required as a central component. Therefore, A sensor on the basic of the "tuning fork method" for automotive controls is being developed. The sensor was fabricated by the surface micro machining process to miniaturize its size. The sensor output offset is $\pm 0.37^\circ/\text{sec}$ in the room temperature. The resonance frequency of the fabricated yaw rate sensor is measured to 5.29kHz for the drive mode. Tests of the sensor demonstrate that its performance is equivalent to that required for implementation of a yaw control system. Vehicle handling and safety are substantially improved using the sensor to implement yaw control.

Key Words : Electronic stability program (전자식주행안전장치), Yaw rate sensor (각속도 센서), Gyro (자이로), MEMS (미세전자기계장치), Vacuum packaging (진공 패키징)

기호설명

ζ = damping ratio

ω_o = natural frequency

b = viscos damping coefficient

I = rotating moment of inertia

1. 서론

자이로 센서는 이동체 각속도를 검지하는 센서로서 세라믹 방식, 링 방식, 광학 방식, 미세전자기계장치(micro electro mechanical systems, MEMS) 방

식 등이 있다. 자이로 센서는 캠코더 손 떨림 방지, 미사일과 항공기 제어, 자동차 전자식안정화장치(electronics stability program, ESP) 제어 등에 광범위하게 사용되고 있다.¹ MEMS 기반의 자이로 센서는 1991년 드레퍼실험실에서 처음으로 제안되어 다양한 설계 및 공정, 구동부 및 검지부 구조 등이 제안되었다. 1990년 초반에는 검지부 몸체 가공기술 위주로 연구가 진행되어 1993년 드레퍼실험실에서 60Hz, 1.5°/sec의 정밀도, 1999년 무라타에서 10Hz에서 0.07°/sec를 가지는 자이로를 개발하였다. 2002년도에는 Analog Device Inc.가 0.05°/sec/Hz^{1/2}의 노이즈를 갖는 단축 자이로 센서를 개발하였다. 최

접수일: 2007년 3월 9일, 게재승인일: 2007년 7월 25일

교신저자: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

E-mail: bywokim@ulsan.ac.kr Tel. (052) 259-1287

근, 자동차 제어에 대한 필요성이 증대되면서 자이로 센서 시장이 급격하게 팽창되고 있다.

자동차에 자이로 센서가 처음으로 적용된 것은 차량항법장치로서 초창기에는 세라믹 방식의 자이로가 이용되었다. 최근에는 각속도의 일반 성능과 경제성 측면에서 경쟁력을 갖게 된 MEMS 방식 자이로가 보편화되고 있다. 자동차 ESP 제어에 적용되는 자이로 센서는 일반 가전 및 산업용 자이로에 비하여 우수한 일반 성능 확보 및 내구 신뢰성 확보가 필수적이다. 이 때문에 자동차용 자이로 센서의 검지부는 일반용 자이로 센서와 차별화된 공정 개발이 요구되고 있다.

MEMS 기반의 자이로의 검지부 설계, 제작은 크게 진공 방식과 비진공 방식으로 대별할 수 있다. 비진공 방식은 SOI 웨이퍼와 유리 기판 사이 공극을 대기압 상태로 유지시키는 반면에 진공방식은 SOI 웨이퍼와 유리 막 사이를 일정 진공 상태로 유지시킴으로써 진공도 평가 척도인 특성인자 Q 값을 크게 할 수 있기 때문에 S/N 값이 확대된다.

이 같은 측면을 고려해 볼 때, 자동차에 응용 가능한 자이로 센서 개발을 위해서는 MEMS 검지부의 SOI 웨이퍼와 유리 기판을 일정 진공도를 유지시킬 수 있는 공법 개발이 중요하다. 자동차용 자이로 센서를 개발하여 상용화하고 있는 보쉬, 무라타와 같은 선진국 업체인 경우에도 진공 방식에 대한 다양한 양산화 연구를 실시하고 있다.^{2,5}

본 연구에서는 자동차에 적용 가능성을 극대화시키기 위해서 MEMS 기반의 진공 패키지 공법을 적용하여 자이로 센서 일반 성능을 평가하고자 한다. 또한, 진공 패키지를 통한 일반 성능 평가와 함께 내구 측면의 자이로 성능 유지 여부를 검증하기 위한 평가를 실시하였다.

마지막으로, MIL 사양에 준하는 자동차용 자이로 센서임을 고려하여 제작된 MEMS 자이로를 실제 자동차에 적용하여 실차 적용 가능성을 평가하였다.

2. 마이크로 자이로 설계 및 제작

본 연구에서 대상으로 설정한 MEMS 자이로 센서 구조는 아래 Fig. 1과 같이 실제 각속도를 검지하는 실리콘 층과 구조물 보호 및 진공 실장을 위한 유리 기판 층 그리고 검지부를 전기적으로 연결하는 금속 층으로 구성하였다.

실리콘 층은 실리콘 온 인슐레이터(silicon on insulator, SOI) 웨이퍼를 사용하여 움직이는 구조물을 마스크 한장으로 제작하고, 유리 기판은 전계 접합을 위하여 실리콘과 열팽창계수가 유사한 유리 기판(shott사, Boro 33)을 사용하였다. 유리 기판에 공동(cavity)을 제작하고 SOI 웨이퍼에 MEMS 공정을 이용한 검지부를 형성시킨 후에 유리 기판과 SOI 웨이퍼 공간이 일정 진공이 되도록 한다.

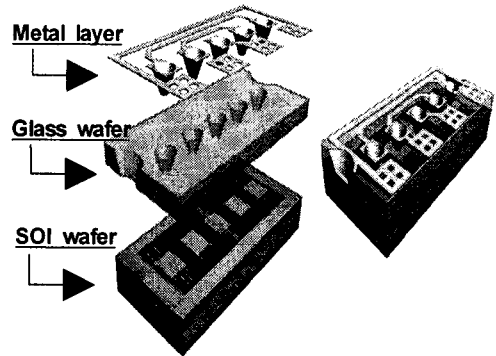


Fig. 1 Gyro structure manufactured by vacuum method

금속 배선 층은 알루미늄, 니켈 그리고 금 층으로 구성하였다. 먼저, SOI 웨이퍼 상에 MEMS 검지부를 형성시키는 절차는 Fig. 2와 같다. SOI 웨이퍼에 대한 MEMS 공정은 크게 네 가지 단계로 구분할 수 있다. 즉, 세정공정 → 사진공정 → 식각공정 → 이온 에칭 → 릴리즈 단계이다. SOI 기반의 MEMS 자이로는 Fig. 2와 같이 한 장의 마스크를 이용하여 특정 각속도에 반응하도록 제작하였다.

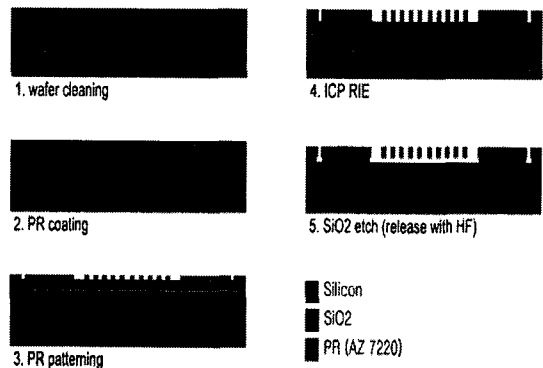


Fig. 2 Processing of detecting structure using SOI wafer

MEMS 자이로 구조물을 안정적으로 제작하기 위한 중요 공정 중의 하나가 웨이퍼 세정 공정이다. SOI 웨이퍼는 황산과 과산화수소 ($H_2SO_4 : H_2O_2=2:1$)를 혼합하여 유기물과 미세 입자를 제거한 후에 불산 수용액($HF:H_2O=1:1$)에서 자연 산화막을 제거시킨다. 세정이 끝난 웨이퍼는 고온 오븐에서 완전 건조한 후에 차기 공정에 투입하였다.

사진공정은 감광제도포(AZ 7220), 저온 가열, 노광, 현상, 검사, 고온 가열로 구성된다. 첫 단계로 감광제와 실리콘 표면의 접착력을 높이기 위해 HMDS(hexamethyldisilane)를 기상 도포하였다. 이 표면에 PR을 2800rpm으로 스핀 코팅하여 두께 2 μm PR을 형성시켰다. 두께를 2 μm 두께로 형성시킨 것은 에칭 단계에서 오버 에칭이 발생하는 것을 고려한 것이다. 도포된 PR은 가열기(110 $^{\circ}C$)에서 저온 건조를 실시하고 I 라인 파장의 UV 램프를 이용하여 노광을 실시하였다. 다음 단계에서 현상 작업을 실시하였는데, 일반적인 정렬 장비를 이용한 사진공정에서는 미세선폭의 가장자리가 왜곡되는 현상이 발생되기 때문에 현상 직후에 세정 장비를 이용하여 가장자리 왜곡을 개선하였다. 가장자리 왜곡 보정 후에 고온 가열을 실시하고 인라인 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 웨이퍼 상의 상하좌우 및 중심에 위치해 있는 구조물의 주요 선폭과 간격을 측정하여 실제 설계된 마스크와의 차이가 일정 사양 이하로 유지되도록 하였다.

SOI 웨이퍼 위에 사진 공정을 통하여 패턴 형성이 완료되면 SOI 웨이퍼의 구조물 층을 ICP-RIE 장비를 이용하여 건식 식각하였다. 식각은 SF_6 가스를 이용한 실리콘 식각과 C_4F_8 가스를 이용한 폴리머증착의 두 가지 단계를 반복적으로 진행하였다. 40 μm 두께의 구조물이 형성되면 SOI 웨이퍼의 산화막이 식각 정지 층을 이루게 된다. 40 μm 두께의 식각이 완료된 후에도 릴리즈 공정이 원활하게 진행될 수 있도록 건식 식각을 일정 회수만큼 진행하였다. 식각이 완료되면 O_2 플라즈마를 이용하여 세정을 진행하여 잔여 PR을 제거하였다.

식각이 완료된 구조물에는 식각 정지 층인 산화막이 남아있어 실제 움직이는 부분이 고정되어 있는 상태이다. 산화막의 특정 부분을 제거하여 움직이는 구조물을 제작하는 것이 릴리즈 공정이다. 먼저 웨이퍼에 남아있는 이물질 및 잔여 PR을 완전히 제거하기 위해 세정공정과 같이 황산과 과산화수소를 이용하여 웨이퍼를 세정하고 증류수로 세척한다. 산화막을 제거하기 위해 불산($HF:DI = 1:1$)을 사용하여 산화막을 습식 식각 후 증류수로 웨이퍼를 세척한다. 이후 SRD(spin rinse dry)로 웨이퍼의 물기를 제거한 후에 에어 건조를 통해 구조물을 부상시킨다.

다음은 SOI 웨이퍼 상에 형성한 MEMS 검지부에 대하여 특정한 진공도가 유지되도록 유리 기판을 이용한 진공 실장 기술을 논하고자 한다. 앞서, 마이크로 자이로에는 검지부에 일정한 진공을 유지시키면 높은 Q 값 확보를 통한 높은 신호대비 노이즈(S/N) 비율 확보가 가능하다고 하였다. 이 같은 결과를 얻기 위해서는 실리콘 웨이퍼와 유리 기판이 완전하게 결합할 수 있는 실장 기술이 요구되는바, 본 연구에서는 실리콘과 유리의 전계 접합을 통한 진공 실장이 가능하도록 유리 기판 구조물을 제작하였다.

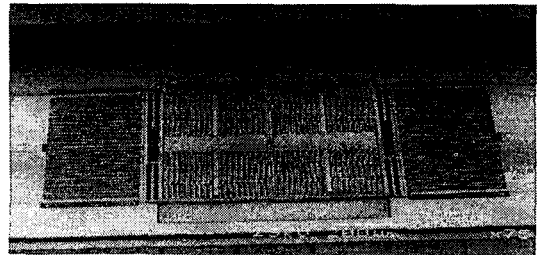


Fig. 3 Detecting part of gyro sensor

다음은 SOI 웨이퍼 상에 형성한 MEMS 검지부에 대하여 특정한 진공도가 유지되도록 유리 기판을 이용한 진공 실장 기술을 논하고자 한다. 앞서, 마이크로 자이로에는 검지부에 일정한 진공을 유지시키면 높은 Q 값 확보를 통한 높은 신호대비 노이즈(S/N) 비율 확보가 가능하다고 하였다. 이 같은 결과를 얻기 위해서는 실리콘 웨이퍼와 유리 기판이 완전하게 결합할 수 있는 실장 기술이 요구되는바, 본 연구에서는 실리콘과 유리의 전계 접합을 통한 진공 실장이 가능하도록 유리 기판 구조물을 제작하였다.

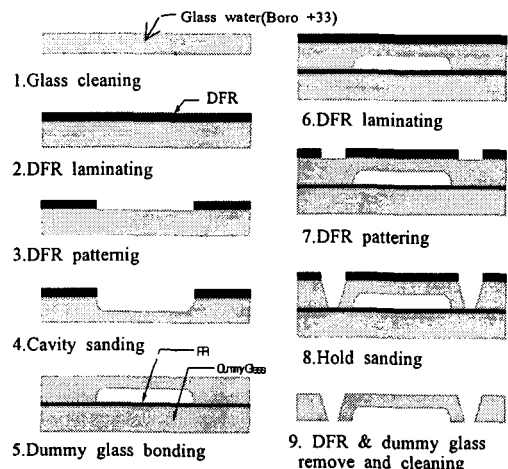


Fig. 4 Processing of glass wafer

자이로 구조물이 진공상태에서 운동을 하기위해 유리 기판에는 일정한 공간이 확보되어야 하는데, 이러한 공간을 공동(cavity)라고 정의한다.

Fig. 4는 유리 기판 가공에 대한 전체 공정도이다. 공극 제작은 1번에 4번까지의 공정 순서를 거치게 되는데, 우선 250um의 두께를 갖는 유리 기판을 황산 세정하여 표면의 이물질들을 제거한다. 유리 기판은 모래 분사기로 가공을 하는데, 이를 위하여 100um 두께의 건조필름저항DFR(dry film resist)을 laminator에서 기판 위에 코팅을 한다. 마스크를 통해 식각이 되는 부분을 제외한 나머지 부분에 노광을 실시한 후에 DFR 전용 현상액으로 현상을 하면 3번째 그림과 같이 된다. 패턴형성을 완료한 후에 모래 분사기에 투입하여 100um 깊이의 공극을 4번과 같이 형성한 후에 DFR을 제거하고 세정을 하여 공극 제작을 완료한다.

검지부 구조물 층과 외부와의 전기적 연결 역할을 수행하는 hole 제작을 위하여 일반 재질의 보조 유리 기판을 공극 가공이 완료된 유리 기판과 PR을 이용하여 접합시킨다. 이 후에 공극 가공과 같은 순서로 DFR을 이용한 사진 공정을 거친 후에 모래 분사기로 구멍을 가공한 후에 보조 기판 층을 제거. 세정을 실시하면 유리 기판 공정이 완료된다.

마이크로 자이로의 양산 가능성을 결정짓는 중요한 기술이 바로 진공 실장 기술이다. 구조물이 완성된 SOI 웨이퍼와 유리 기판을 정렬기에서 각각의 웨이퍼에 형성되어 있는 정렬 패턴을 이용하여 정렬한다. 전계접합은 총 3차의 접합단계로 진행된다. 첫째, 웨이퍼간의 정렬을 고정시켜주는 자유 본딩은 웨이퍼의 중심 부분에 한 개의 핀 전극으로 전압을 가하여 접합시킨다. 둘째, 구조물이 움직이는 공극 내부의 진공에서 접합되는 단계에서는 웨이퍼 전면에 전압을 가하여 접합시킨다. 이 때, 실리콘과 유리 기판의 열팽창 차이를 고려하여 상부와 하부의 온도를 동일하게 유지시켜준다. 마지막으로 확실한 접합을 위해 고전압을 전극에 인가하여 유리 기판 내부의 규소를 제거시켜 접합을 마무리한다. 접합이 완료된 웨이퍼 상태에서는 각 구조물의 특성을 측정할 수가 없다. 측정을 위해서는 구조물에서 유리 기판 상면으로 전극을 형성한 후 구조물의 특성을 관찰하여야 한다. 전극을 형성하기 전에 접합 완료 된 웨이퍼의 표면을 샌딩 처리하여 표면을 거칠게 만든다. 왜냐 하면, 고단면비의 형상을 갖는 홀 내부까지 금속을 증착시키도록 접

합력을 높이기 위함이다. 이 후 알루미늄을 스퍼터링으로 약 3um 증착을 실시한 후에 패속 열처리(rapid thermal annealing, RTA)공정을 이용하여 실리콘과의 오음 접촉을 형성시킨다.

이 후 니켈을 1um 스퍼터링하고 이차적으로 금을 0.3um 스퍼터링한다. 전극 패턴을 형성시키기 위해서 PR코팅을 실시하는데, 구멍이 있으므로 PR로 구멍 내부의 전극이 완전히 보호되도록 PR 코팅 작업을 2회 실시하였다. 2차 코팅 작업 후에 저온, 고온 가열을 실시한다. 사진 식각 공정을 완료한 후에 각 층의 금속에 맞는 식각 용액을 이용하여 습식 식각을 실시하고 잔여 PR을 제거하면 칩 상태의 구조물이 완성된다.

3. 자이로 센서 온도보상

일반 산업용 자이로가 상온에서 동작되는 반면에 자동차용 자이로는 -40 ~ 125℃ 온도에서 동작되기 때문에 온도변화에 따른 신호 왜곡 현상이 발생되지 않아야 한다. 이를 위하여, 본 연구에서는 온도변화에 따라서 MEMS 검지부에서 발생하는 신호 왜곡을 최소화하기 위한 자동이득제어 방안을 도입하였다. 본 MEMS 검지부는 진공 방식을 적용하였기 때문에 온도변화에 따른 댐핑 비율이 크게 변하지 않으나 일부 발생된 신호왜곡을 보상하였다.

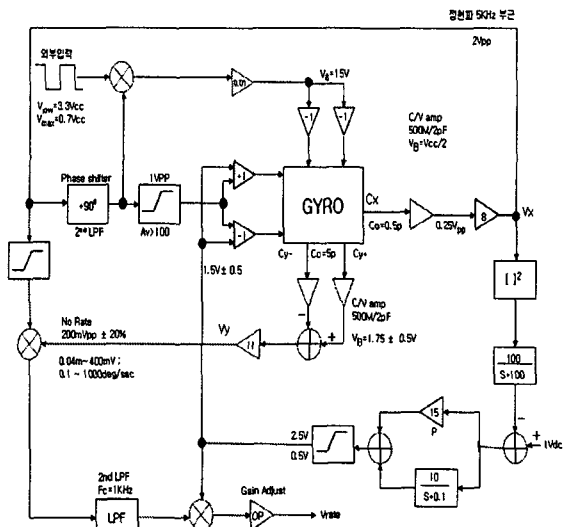


Fig. 5 Signal processing and temp. compensation of gyro sensor

GYRO_SV1 (회로도)

GYRO_SV1 (X축 Simulation)

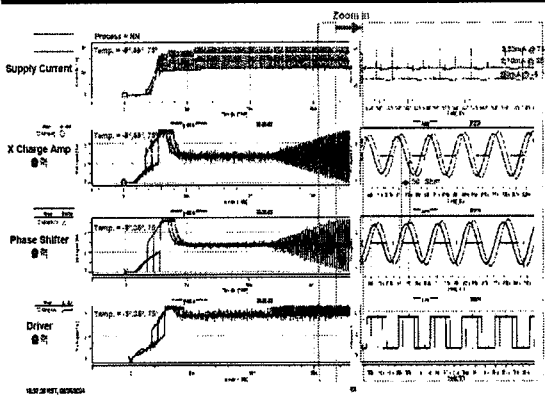


Fig. 6 Simulation results of X-axis circuit

자이로 센서의 회로부는 구조물의 진동을 유발하는 self oscillation부, 코리올리 운동을 검지하는 Y 검지부, 감지된 신호와 진동신호를 비교하여 변조된 신호에서 각속도 신호를 추출하는 복조부, 온도변화에 따른 감도 변화를 보상하는 온도보상부로 구성된다. 자이로에 인가되는 변위에 의해서 발생하는 정전용량 변화(ΔC)는 고주파 캐리어 신호를 인가하여 복조하는 방식을 이용하였는데, ΔC 변화가 수 kHz의 일정한 주파수임을 이용하여 일정한 DC 바이어스가 인가된 용량 분배기(capacitive divider)에서 변화되는 미소전압의 진폭 변화량을 검지하였다. 자이로의 y 축 출력신호는 x축 구동신호와 z축 방향으로 인가되는 각속도 성분이 변조된 형태로 나타나므로 이로부터 각속도 성분을 검출하기 위한 복조 회로부를 구성하였다. 임의의 신호 f_m 이 고주파의 반송 신호 f_c 에 의해 변조되었다면 이 신호 f_m 을 다시 곱하고 저역필터를 통과시킴으로써 복조가 가능하도록 하였다.

자이로에서는 x축으로 진동하는 구조물의 속도가 캐리어 역할을 하게 된다. 즉, 주파수와 위상이 고정된 일정한 구동전압이 캐리어가 되므로 복조가 가능하도록 승수를 사용하여 변조신호의 극성을 캐리어에 동기시켜 바꾸어 주는 동기 검파기로 복조기능을 구현할 수 있다. 동기 검파에서 승수를 사용하면 외란 신호와 x축 신호는 서로 같은 위상 또는 180도의 위상을 가지므로 동기 신호에서 배제되고 오직 각속도 신호만이 동기 검파를 통과한다. 승수를 거친 신호에는 각속도 신호와 진동 신호의 2배의 성분으로 발생되는데, 2배 고주파는 저역통과필터를 통과할 때 소멸된다. 복조부

를 통과한 신호는 자이로 감도 조절을 위한 조절단에 입력되어 자이로의 주파수 대역폭과 출력을 조절하는 보상기를 거치게 되어 최종 출력이 발생된다.

본 연구에서는 온도 변화에 따라서 진공도가 변화되어 자이로 출력이 가변되기 때문에 이를 회로적인 보상을 실시하였다. 먼저, 자이로 구동부에 대한 온도 영향을 제거시키기 위하여 공극에서 발생하는 진공도 변화에 의한 신호변화를 검지하였다.

자이로의 초기 발진을 발생시키는 회로에서 회로 자체의 온도 특성이 작도록 설계하여 회로 자체의 온도 의존성이 작다고 가정하였다. 자이로의 발진 변위는 주위의 압력에 반비례하는 특성을 갖기 때문에 온도가 상승하여 압력이 올라가고 자이로 구조물에 인가되는 공기저항이 비례하여 상승한다. 이때, 자이로의 변위는 공기저항에 주로 영향을 받기 때문에 기계적 댐핑이 증가하여 감소하게 된다. 결과적으로 자이로 변위를 감지하는 출력단(X_{so})의 출력이 감소하게 된다. 출력단은 자이로에 있어서 진공도를 감지할 수 있는 적절한 정보를 제공하기 때문에 이 신호를 자이로를 구동하는 신호에 되먹임 제어용 기준 신호로 이용하는 자동게인제어(automatic gain control) 방법을 도입하였다. 또한, 온도에 의한 영향은 가진 방향은 물론이고 코리올리 운동을 검지하는 Y 방향에도 적용하였다. 자이로에서 발생된 코리올리 출력 신호에 가진 신호의 직류 성분을 끄해 주면 쉽게 온도에 의한 변화를 상쇄시킬 수 있다. Fig. 5에서 알 수 있듯이, 제일 상부에 표시된 루프가 자가 발진을 담당하는 되먹임제어로서 전하 증폭기, LPF, 전압 한계를 갖는 증폭기로 구성된다.

자동게인제어에서 나타나는 출력 V_x 는 자이로 진공도 변화에 따라서 가변되는 물리량으로 온도 보정의 중요한 인자이다. 다시 말하면, 자이로에서 발생하는 변위 신호는 진공도의 무차원 척도인 특성인자에 비례하여 나타나는데, 이 신호에서 진동 변화를 계산할 수 있다. 출력 V_x 는 RMS 형태로 변환하고 가진 신호의 직류 성분으로 부의 되먹임제어를 적용하면 온도변화와 무관한 안정적인 출력이 얻어진다. 본 연구에서는 V_x 의 절대 값이 1 volt가 되도록 하였다, 또한, 진공도 변화는 발진 신호는 물론이고 코리올리 출력 변화를 야기하기 때문에 발진 신호 안정화에 이용된 신호는 직류 성분만을 코리올리 신호에 인가하여 온도 변화에 무관한 각속도 변화만을 얻도록 하였다.

4. 결과 및 고찰

MEMS 기반의 자이로 센서의 작동 전압, 기준 출력, 소비 전류 등은 회로 H/W에 의해서 결정되는 항목이기 때문에 기존 자동차에 적용되고 있는 사양에 의거하여 설정하였는바, 본 논문에서는 자이로 센서의 중요한 특성인 감도, 선형성, 온도 특성을 중심으로 분석하였다. Table 1은 상기에서 기술한 MEMS 공정을 통하여 제작된 자이로 센서의 주요 특성 자료이다.

Table 1 Main characteristics of MEMS gyro sensor

Item	Value
Detection range	-90 ~ 90°/sec
Scale factor	25mV/°/sec
Linearity	Within ± 0.6%
Zero drift	Within ± 0.37°/sec
Temperature range	-40 ~ 125℃
Electric protection	8.0 ~ 16.0V
Size	2.8cc
Bandwidth	15hz

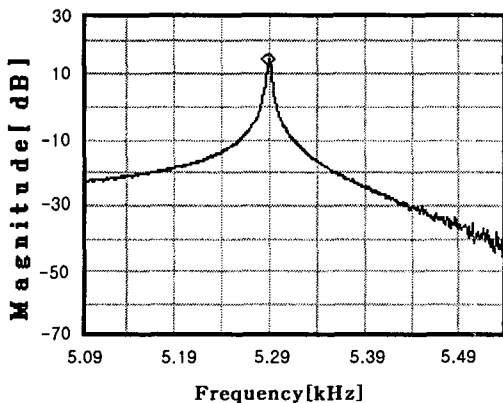


Fig. 7 Resonance frequency of MEMS gyro sensor

Fig. 7은 Agilent 35670A 동적 신호 분석기를 이용하여 측정한 자이로 검지부의 가진 및 검지단의 공진 특성을 나타내고 있다. 검지부의 가진 및 검지단의 공진 주파수는 5.298 khz를 나타냈다. Fig. 8

은 자이로 센서를 정지시켜 놓았을 때, 발생하는 영점 변화량을 나타냈다. 본 연구에서 제작된 자이로 센서의 영점 변화는 0.01V 내외로서 각속도 값으로 변환하면 0.37°/sec이다. 이 영점 변화량은 현재 양산 중에 있는 독일 S사 1°/sec에 비하여 양호한 특성을 확인할 수 있었다. 이 같은 현상은 MEMS 자이로 센서 검지부를 진공 처리한 결과에 기인한다고 사료된다. MEMS 자이로 센서의 검지부가 일반 대기 중에 노출된 기존 자이로 센서는 공기저항에 의하여 감도가 저하되고 노이즈가 증가되는 현상을 나타나게 된다.

이와 달리, 본 자이로는 검지부를 일정 진공 상태로 유지시키기 때문에 공기 저항을 거의 상쇄시킬 수 있는 장점이 있다. 자이로 센서 구조물의 검지부의 운동을 댐퍼와 스프링이 달린 질량의 회전 운동으로 단순화시킨 조건에서 특성인자 Q는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$Q = \frac{1}{2\zeta} = \frac{\omega_o I}{b} \quad (1)$$

여기서, ζ : 감쇠비, ω_o : 구조물 고유진동수, b : 점성 감쇠계수, I : 회전관성모멘트이다.

식 (1)에서 알 수 있듯이, 높은 특성인자(Q)를 갖기 위해서는 구조물의 점성감쇠계수를 낮추고 구조물의 고유진동수와 회전관성모멘트를 증가시켜야 함을 알 수 있다.

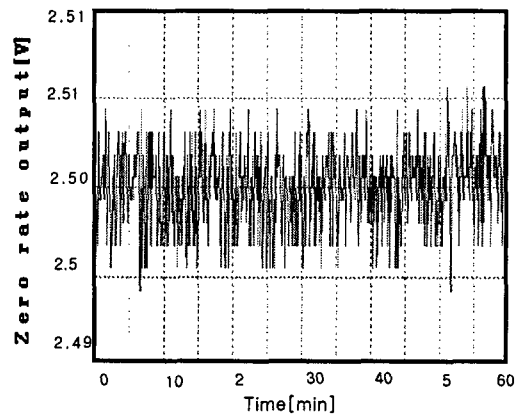
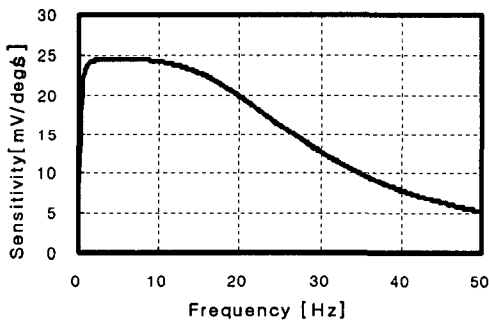


Fig. 8 Zero drift of MEMS gyro sensor

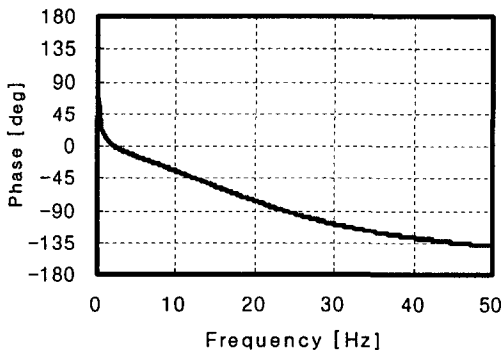
Fig. 9는 제작 자이로 센서의 위상-주파수, 위상-감도 특성을 나타낸 결과이다. 본 제작 센서의

bandwidth는 15hz를 나타내고 있다. 튜닝포크 모드를 이용하는 자이로에서 중요한 설계 목표 중의 하나는 실제 사용하는 진동모드와 사용하지 않는 진동모드를 가능한 분리시키는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 자이로 MEMS 구조물을 설계하는 과정에서 구동모드와 검지모드와 함께 실제 사용하지 않는 전환 모드(translation mode)가 동반되는바, 자이로센서가 갖고 있는 주파수 대역폭보다 가능한 큰 주파수 차이로 분리시켜야 한다. 일반적으로 자이로가 갖고 있는 주파수 대역폭보다 10배 이상 확보하는 것이 바람직하기 때문에 π 형상의 스프링에서 Tuning fork 모양의 스프링으로 형상 변경을 실시하여 초기 1khz에서 1.5khz로 증가시켰다.



(a) Sensitivity frequency



(b) Phase frequency

Fig. 9 Bandwidth characteristics of MEMS gyro sensor

Fig. 10과 Table 2는 자동차 환경에서 발생할 수 있는 온도 조건 -40 ~ 125℃까지의 온도와 각속도를 변화시킬 때, 자이로 센서의 선형성과 출력 변

화를 나타낸 것이다. 전체 온도 범위에서 자이로센서의 최대 오차 범위는 2%를 나타내고 있다. 이는 기존에 상용화되어 있는 독일 S사의 5%에 비하여 우수한 성능이라 할 수 있다. 이와 같이, 자동차에서 발생될 수 있는 극한 온도 조건에서 상기 성능을 발휘할 수 있는 것은 검지부의 강인성 설계는 물론이고 센서 검지부에 위치한 공극의 온도 및 압력변화를 상쇄시킬 수 있는 자동제어 제어 방안이 기인한다고 사료된다.

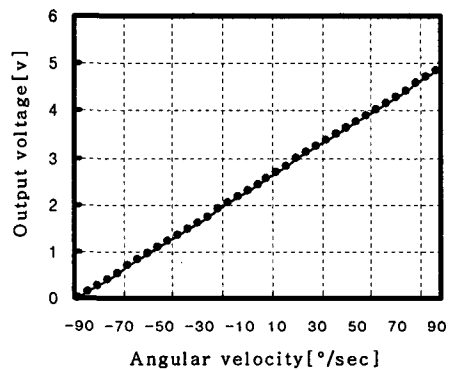


Fig. 10 Linearity of MEMS gyro sensor

Table 2 Output variation due to Temp. variation

Time	Sample	0°/s	37.8°/s	Error
-40℃	Devel. sensor	2.39V	3.41V	2%
	German S	2.48V	3.45V	3%
+25℃	Devel. sensor	2.43V	3.44V	1%
	German S	2.46V	3.41V	5%
+125℃	Devel. sensor	2.62V	3.62V	0%
	German S	2.56V	3.54V	2%

Fig. 11은 자이로 전용 테스트 벤치를 이용하여 자동차 환경과 유사하게 급격한 각속도 인가에 따른 표준 자이로와 개발 자이로의 출력 변화를 나타낸 것이다. 여기에서도 알 수 있듯이, 실차 조건에 근접된 평가 조건에서도 기존 양산 자이로와 대등한 특성을 나타내고 있었다. 앞으로, 본 개발 자이로의 상용화를 극대화시키기 위해서는 단순한 실험실 수준이 아닌 실차 장착을 통한 일반 성능 검증과 내구신뢰성 관점의 연구가 필요할 것이다.

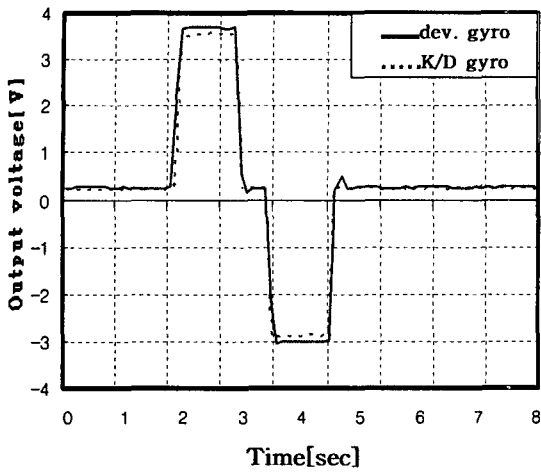


Fig. 11 Dynamic characteristics of MEMS gyro due to angular velocity variation

5. 결론

본 논문에서는 자동차 동작 환경에 적합한 MEMS 기반의 자이로 센서를 개발하였다. 자동차에 적합한 자이로 센서 개발을 위하여 넓은 온도 범위를 갖고 일정한 성능을 발휘할 수 있도록 자동제어 방안을 도입하였다. 이를 통하여, 제작된 자이로 센서는 검지부 크기가 2.8cc로 소형화되면서 센서 감도 25mV/°sec, 선형성 ±0.6%, 영점변화 ± 0.37°/sec 를 갖는 고정밀 센서 개발이 가능하였다. 특히, 자동차용 자이로센서에서 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 광범위한 온도 영역(-40 ~ +125℃)까지 자동차 센서 사양을 만족시킬 수 있었다. 이는 기존 자이로 센서의 동작 온도가 최대 -40 ~ +80℃임을 고려한다면 우수한 자이로 성능이라 할 수 있다. 특히, 본 논문에서는 검지부 공간을 기존 비진공 방식에서 진공 방식을 적용함으로써 영점변화 및 노이즈 저감을 확인할 수 있었다. 본 연구는 자동차 자이로 센서의 일반 성능 확보 차원에서 실시되었기 때문에 앞으로 자이로 센서의 내구 및 신뢰성 검증을 실시하고 실차 적용을 통한 상용화 가능성 검토가 필요하다.

참고 문헌

1. Weng, J. H., Chieng, W. H. and Lai, J. M., "Structure

Design and Analysis of Micromachined Ring-type Vibrating Sensor of Yaw Rate and Linear Accelation," Sensors and Actuators A : Physical, Vol. 117, Issue 2, pp. 230-240, 1995.

2. Putty, M. W. and Najifi, K., "A Micromachined Vibrating Ring Gyroscope," Solid-State Sensors and Actuators Workshop, June, pp. 13-16, 1994.

3. Johnson, J. D., Zarabadi, S. Z. and Sparks, D. R., "Surface Micromachined Angular Rate Sensor," SAE Technical Paper Series, 950538, pp. 452-459, 1995.

4. King, A. T., Kourepenis, A., Maciel, P. and Weinberg, M., "A Micromachined Comd-Drive Tuning Fork Rate Gyroscope," IEEE0-7803-09572/93, pp. 245-251, 1993.

5. Funk, K., Schilip, A. and Offenber, M., "Surface Micromaching of Resonant Silicon Structure," The 8th International Conference (Transducer 95), No.519, pp. 50-52, 1995.