

Computer Interface를 이용한 핵 사중극 공명 Gaussmeter의 제작

김해진 · 신종필 · 조성호

고려대학교 물리학과, 서울시 성북구 안암동 1번지

김창석

한국 표준과학 연구원, 대전시 유성구 도룡동 1번지

(1995년 3월 6일 받음, 1995년 4월 12일 최종수정본 받음)

전기장 기울기 텐서가 측대칭인 결정에 대칭인 방향으로 자기장을 가하면 핵사중극공명에 미치는 Zeeman 효과에 의하여 두개의 분리된 공명진동수가 측정된다. 이 때 가해진 자기장과 두 공명진동수 간의 차이는 서로 비례하며, $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ 단결정의 ^{14}N 원자핵에 대한 비례상수는 0.16 mT/kHz 이다. 핵 사중극 공명장치와 개인용 컴퓨터를 interface 하여 핵 사중극 공명신호의 모습을 모니터에 표시하여 측정되는 두 공명신호의 진동수 차이로 자기장을 직접 읽을 수 있도록 하였다. 여기로부터 핵 사중극 공명 Gaussmeter를 이용하여 실험적으로 측정된 최저 자기장은 0.20 mT 였다.

I. 서 론

오늘날 정확한 자기장을 측정하는 방법으로는 Hall probe와 수소원자의 핵자기 공명(NMR)방법과 유기물질을 이용한 전자스핀 공명(ESR)이 널리 사용되고 있다 [1-10]. 그러나 Hall probe로 많이 사용되는 물질은 반도체이고 반도체의 전하운반자 농도는 온도에 지수함수적으로 의존한다. 따라서 Hall 소자를 이용하여 자기장을 잴 때에는 실험실의 온도의 영향을 크게 받기 때문에 정밀한 측정에는 온도조절 장치가 필요하다. 또한 NMR 방법은 낮은 자기장에서 공명 주파수가 낮아지므로 감도(sensitivity)가 아주 나빠지기 때문에 수십 mT 이하의 저자기장 측정에는 아주 어려움이 많다. 그리고 ESR 방법은 실험이 복잡하지만 비교적 정확한 자기장을 측정할 수 있다고 알려져 있다. 그러므로 저자기장 측정의 정밀도를 개선하고, 응용하기에 용이한 새로운 측정 기술로 핵사중극 공명(NQR)을 이용한 새로운 방법을 이미 제안하였다[11]. 이 방법은 전기장 기울기 텐서(electric field gradient tensor)가 측대칭인 결정체에 자기장을 그 대칭 축방향으로 가할 때 생기는 ^{14}N 원자핵의 Zeeman 효과를 이용한 것이다. 결정물질로는 질소원자의 밀도가 많고, 단결정을 성장시키기에 비교적 용이한 $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$ 을 선택하고 이것의 ^{14}N 핵사중극 공명을 이용한 것이다. 이러한 원리를 이용한 NQR 분광기와 computer를 interface 하여 저자기장 측정용 NQR Gaussmeter를 제작 할 수 있었다.

II. NQR probe 결정

자기장을 측정하기 위한 NQR probe는 자연 존재비가 거의 100% 이고 결정성장이 비교적 용이하며 전기장 기울기 텐서(EFG tensor)가 측대칭이고 핵스핀이 1이어서 간단한 NQR 공명선을 얻을 수 있고 온도 의존성이 적은 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ 내의 ^{14}N 원자핵에 대한 핵사중극 공명방법을 택하였다[11].

III. 이론적 배경

결정내에 위치한 ^{14}N 의 Zeeman 효과를 포함한 핵사중극 해밀토니안은 다음과 같다[12].

$$H = H_Q + H_Z \quad (1)$$

$$H_Q = \frac{e^2qQ}{4I(2I-1)} [3I_z^2 - I(I+1) + \eta(I_+^2 + I_-^2)/2] \quad (2)$$

$$H_Z = -g_N \beta_N B \cdot I \quad (3)$$

여기서, H_Q 는 핵사중극 해밀토니안이고, H_Z 는 자기장을 가했을 때의 Zeeman 해밀토니안이다. 전기장 기울기 텐서가 측대칭($\eta=0$)일 때 전기장 기울기 텐서의 대칭축(Z축)으로 자기장을 가하면 식(1)의 에너지 고유치는

$$E_m = \frac{e^2qQ}{4I(2I-1)} [3m^2 - I(I+1)] - g_N \beta_N m B \quad (4)$$

으로 된다. 여기서 I 는 원자핵의 스핀, m 은 $-I \leq m \leq I$ 인 자기 양자수이다. 자기장을 가했을 때 Zeeman 효과에 의한 에너지 분리를 그림으로 나타내면 Fig.1과 같다.

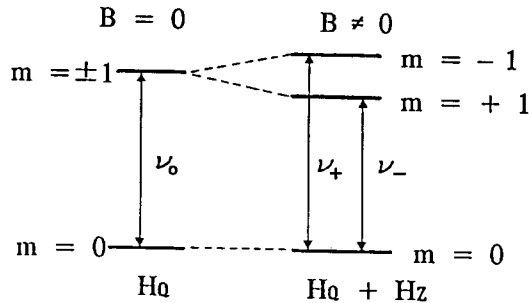


Fig. 1. The degenerate NQR line (ν_0) at zero magnetic field is split into two lines (ν_+ and ν_-) under an applied magnetic field.

자기장을 가하지 않았을 때의 공명 진동수 ν_0 와 가했을 때의 인접한 두 준위 간의 전이에 의한 진동수 ν_{\pm} 는 식 (4)에 의하여

$$\nu_0 = \frac{3e^2qQ}{4h} \quad (5)$$

$$\nu_{\pm} = \frac{3e^2qQ}{4h} \pm \frac{1}{h} g_N \beta_N B \quad (6)$$

으로 된다. 자기장을 가했을 때 측정되는 두 진동수의 차이는

$$\delta\nu = \nu_+ - \nu_- = 2g_N \beta_N B / h \quad (7)$$

으로 된다. 따라서 자기장은

$$B = h(\nu_+ - \nu_-) / 2g_N \beta_N \quad (8)$$

이다. 위에서 보인 바와 같이 자기장은 ν_+ 와 ν_- 의 차이에 의하여 측정된다.

IV. NQR Gaussmeter의 제작

1. NQR Spectrometer의 제작

NQR 발전기는 L-C 병렬 케환(feed back) 발전회로이고 개요도는 Fig.2와 같다. 회로의 구성은 tank 회로와 증폭회로 및 제한기(limiter)를 포함한 케환 회로로 구성

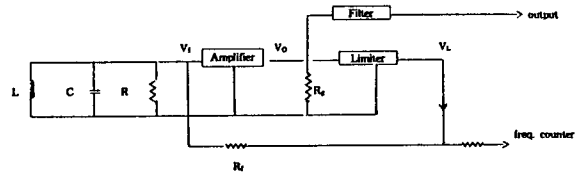


Fig. 2. Block diagram of the L-C feed back circuit

되어 있다. 이러한 회로를 응용하여 NQR Gaussmeter로 사용하기 위하여 비교적 회로가 간단하고 2개의 OP-Amp를 이용한 적분회로 분광기를 제작하였다[13]. 한계 발전기(marginal oscillator)의 진동 에너지를 높여 주기 위해 증폭기(amplifier) LH0033을 buffer로 사용하였다. Buffer 증폭기는 NQR 신호 검출회로와 전압 제한 증폭기(voltage-limit amplifier)로 사용된 2차 미분형 증폭기 $\mu A733$ 를 직접적으로 연결하는 역할을 한다. L-C tank 회로에 증폭기의 입력단자가 직접 연결되면 positive feedback에 의해 발전이 된다. 이런것을 방지하기 위해 tank 회로와 증폭기 사이에 작은 축전기를 사용하였다. 전압 제한 증폭기의 1개의 출력단자는 feedback으로 사용하였고 다른 하나는 주파수 계측기(frequency counter)에 연결하여 실험 주파수를 읽을 수 있게 하였다. 여기서 사용된 제한기의 기능은 출력신호의 진폭이 입력신호의 크기에 관계없이 항상 일정하도록 제한되는 신호의 진폭을 유지시켜준다.

2. Gaussmeter의 제작

잠금 고정 증폭기(Lock-in Amp; 5209)와 컴퓨터를 직렬포트(serial port) Null Modern 방식을 이용하여 RS 232C 방식으로 컴퓨터 interface를 함으로써 NQR 공명신호를 전압변화의 차이로서 컴퓨터의 화면상에 나타나도록하였다. 이때 화면에 나타난 공명신호는 2차 미분형이고 이것은 실험의 초기값과 끝값이 주어짐으로써 공명의 위치를 찾을 수가 있었다. 잠금 고정 증폭기와 컴퓨터 사이에 사용한 RS 232C pin의 접속 방법은 Fig. 3에 나타내었고 그 각각의 핀의 기능은 Table I과 같다. 컴퓨터와 interface한 핵 사중극 공명장치의 토막 그림은 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 5는 이러한 장치를 제작한 후의 시험용 시료로 사용한 수정발전자와 HMT의 공명신호 모습이다.

시료에 자기장을 가하면 공명 신호가 자기장에 비례하여 분리 되는데 이것을 컴퓨터 화면상에서 커서를 이용하여 정확한 위치를 결정함으로써 식(8)을 이용한 NQR

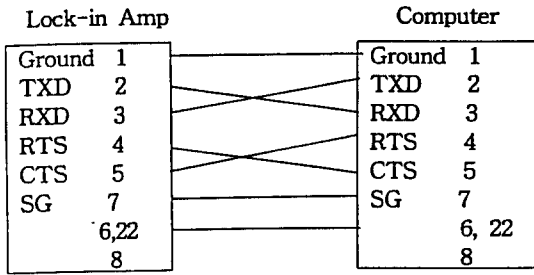


Fig. 3. The interface of the serial port of RS232C between lock-in amp. and computer.

Table I. Name and function of the RS 232 C

핀번호	기능	요약
1	Ground	기기에 연결하는 접지선
2	TXD	직렬 데이터의 송신선. 출력은 전압.
3	RXD	직렬 데이터를 보내도록 요구하기 위한 송신요구 제어선. 항상 +10V의 logic 전압을 갖는다.
4	RTS	송신 허가로 RTS에 대한 응답 신호. 컴퓨터와 Lock-in Amp를 조정한다.
5	CTS	송신 허가로 RTS에 대한 응답 신호. 컴퓨터와 Lock-in Amp를 조정한다.
7	logic ground	신호용 접지(SG)
6, 8-24	사용안함	

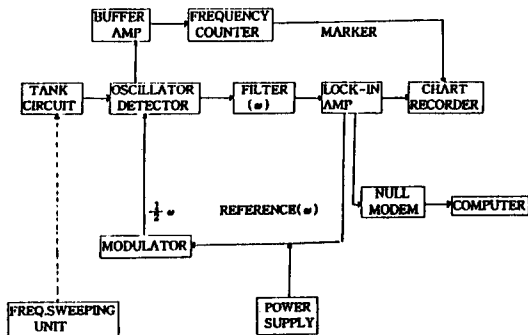


Fig. 4. Block diagram of the NQR Gaussmeter.

Gaussmeter의 제작이 가능 하였다. 이러한 공명 신호의

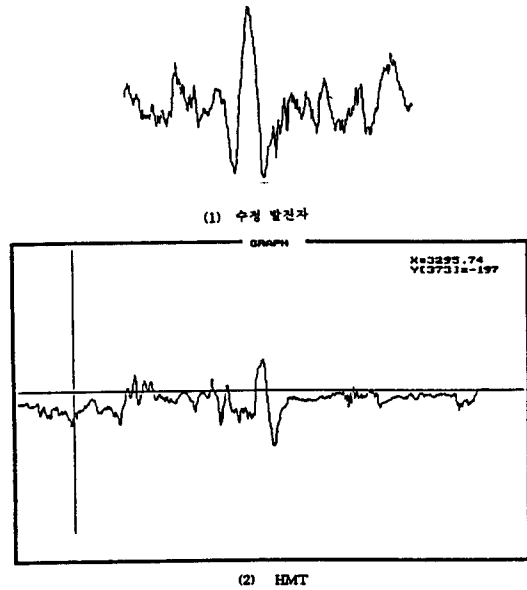


Fig. 5. NQR signal of the testing sample : (1) Quartz oscillator (2) HMT

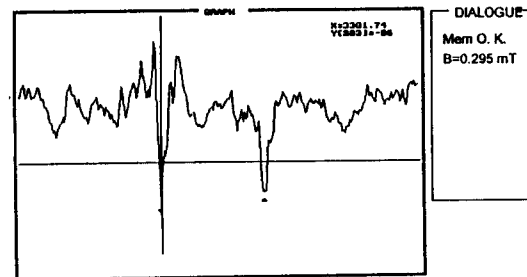


Fig. 6. ¹⁴N NQR lines in (CH₂)₆N₄ at applied magnetic field and calculated magnetic field on the computer screen.

차이를 자기장으로 환산하는데 필요한 컴퓨터 언어는 C++를 사용하였다. 컴퓨터 화면상에 나타난 공명신호의 분리 모습과 환산된 자기장을 Fig. 6에 보였다. Dialogue에 나타난 B값은 가한 자기장을 NQR Gaussmeter로 측정된 값이고 단위는 mT이다.

V. 결 론

절대 저자기장을 측정하기에는 다른 분광학적 방법보

다 ^{14}N 핵사중극 공명에 대한 Zeeman 효과를 써서 자기장을 측정하는 것이 비교적 낮은 저자기장까지 측정이 가능하며 실험적으로 훨씬 간편하다. ^{14}N 원자핵의 경우, 공명 진동수와 자기장 간의 관계식은 $B = h(\nu_+ - \nu_-) / 2g_N \beta_N = 0.16 \text{ mT/kHz}$ 이므로 여기에 자기장에 의한 두 공명선의 주파수 차이를 곱하여 얻은 실험적인 최저 자기장은 0.20 mT였다. 따라서 2개의 OP-Amp를 이용하여 제작된 NQR 분광기를 컴퓨터 interface 하여 만든 NQR Gaussmeter는 비교적 쉽게 다룰 수 있는 고주파 진동수 영역과 온도 조절장치가 없는 실험실에서도 별 문제없이 적용할 수 있는 새로운 저자기장 측정장치이다.

감사의 글

본 연구는 한국표준과학연구원의 연·학 협동연구비 지원을 받아 수행 되었음.

참고 문헌

[1] E. D. Sisson, Analytical Chemistry, **43**, 67A (1971).
 [2] D. Wedlake, Wireless World, **85**, 85 (1979).
 [3] F. A. Phan, Proc. of IEEE 17th Annual

Northeast Bioengineering Conference, 255 (1991).
 [4] J. Heremans, J. Phys. D : Appl. Phys. **26**, 1149 (1993).
 [5] R. V. Pound, Rev. Sci. Instrum. **21**, 219 (1950).
 [6] J. R. Singer and S. D. Johnson, Rev. Sci. Instrum. **30**, 92 (1959).
 [7] K. Weyand, IEEE Trans. Instrum. Measur. **38**, 410 (1989).
 [8] T. J. Han and W. K. Jung, Korean Appl. Phys. **4**, 238 (1991).
 [9] H. Gebhardt and E. Dormann, J. Phys. E **22**, 321 (1989).
 [10] D. Duret, M. Beranger, M. Moussavi, P. Turek and J. J. Andre, Rev. Sci. Instrum. **62**, 685 (1991).
 [11] J. K. Jung, K. T. Han, S. H. Choh and C. S. Kim, Rev. Sci. Instrum. **65**, 1663 (1994).
 [12] A. Abragam, "The Principles of Nuclear Magnetism" (Clarendon Press, Oxford, 1962), Chap. 7.
 [13] Y. Zikumaru, Z. Naturforsch. **45a**, 591 (1990).

Construction of the NQR Gaussmeter using Computer Interface

H. J. Kim, J. P. Shin and S. H. Choh

Department of Physics, Korea University, Seoul 136-701, Korea

C. S. Kim

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-606, Korea

(Received 6 March 1995, in final form 12 April 1995)

When the low magnetic field is applied to the symmetry axis of the axial symmetric electric field gradient tensor of the quadrupolar nucleus in the crystal with nuclear spin, $I = 1$, two split resonance frequencies are observed by the Zeeman effect on the nuclear quadrupole resonance. The applied magnetic field is proportional to the difference of the two resonance frequencies and this proportionality constant for the ^{14}N of $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ single crystal is 0.16 mT/kHz. The NQR spectrometer is interfaced with a personal computer from which the resonance signals are displayed and the value of magnetic field is obtained directly from the difference of the two resonance frequencies. The lowestest measured magnetic field was 0.20 mT using this NQR technique.