

用单个场效应管观测核磁共振和电子自旋共振信号

陈越民 朱万贵

(华东师范大学物理系)

摘 要

本文介绍了单个结型场效应管构成的边缘振荡磁共振探头,用它在不同的工作频率上稳定而可靠地观测到了核磁共振和电子自旋共振信号,有很好的信噪比,振荡器最高频率可达 130 MHz.

核磁共振(NMR)和电子自旋共振(ESR)实验是量子电子学研究的重要物理基础,也是近代物理的基础实验内容之一.

由磁共振原理可知,有磁矩的原子或原子核系统,在互相垂直的恒定直流磁场 B_0 和 高频电磁波 H (角频率为 ω) 的同时作用下,当满足条件

$$\omega = \gamma B_0 = \left(\frac{g\epsilon}{2mc} \right) B_0 \quad (1)$$

时,该系统会从高频电磁场中吸收能量,产生磁共振. (1) 式中 γ 为旋磁比, g 即 g 因数, ϵ 为光速, e 和 m 为原子核(核磁共振)或电子(电子自旋共振)的电荷和质量. 由于电子的旋磁比 γ_e 比质子的旋磁比 γ_p 约大 660 倍,所以对于同一振荡频率而言,电子自旋共振的直流磁场就只有质子核磁共振的 1/660.

一、电 路

用自差法来测量核磁共振和电子自旋共振信号是一种最简便易行的方法,由于它结构简单,使用方便,有足够的灵敏度,因而在教学实验和磁场测量等场合仍然得到广泛采用. 最常见的自差振荡器是 Robinson 振荡器^[1],这是工作在边缘振荡状态的双晶体管限制式振荡器,其检波效率较低,适用于较强信号(如水中质子)观察,一般工作在 20—90 MHz 范围内,缺点是工作状态的调整较麻烦. 场效应管由于高输入阻抗和低噪声等特性,在自差式探头研制

中受到重视. 通常使用的是双场效应管的 Franklin 振荡器^[2],它要求场效应管 T_1 和检波器 T_2 跟随, T_1 应在断电压 V_p 附近工作,而 T_2 最好在零温度系数点工作,因此 T_1 管的 I_{DSS} , V_p 要小于 T_2 管的. 用同一种型号,就容易产生双管轮流交替断电的现象,使工作状态不稳定,且振荡频率不易提高 (≤ 30 MHz).

我们试用单个场效应管来观察磁共振信号,实验上采用共源电路(图 1),这是一种改进型的电容三点式振荡器,效果比柯必兹电路好. 由电路分析可知其振荡频率为

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\left(C_0 + \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \right) L_0}} \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{C_0 L_0}}, \quad (2)$$

其中 L_0 为样品线圈; C_0 为谐振电容; C_1 是反馈分压电容,电场效应管结电容决定; C_2 是探棒与样品线圈的隔直电容; L_1 是场效应管的直流偏置通路; R_i 和 R_w 提供负偏压 V_{GS} ; L_2 为高频扼流电感; R_L 为负载电阻; C_3 为信号输出的高频旁路电容,其值过大或开路会使电路不振荡; C_3 和 C_4 为耦合电容; C_3 和 C_4 为电源退耦电容.

我们把场效应管工作点设置在临近断电压 V_p 的非线性区内,以避免在线性区所产生的强振荡,导致样品饱和而观察不到磁共振信号. 由于振荡器处于边缘状态,振荡较弱,当满足共

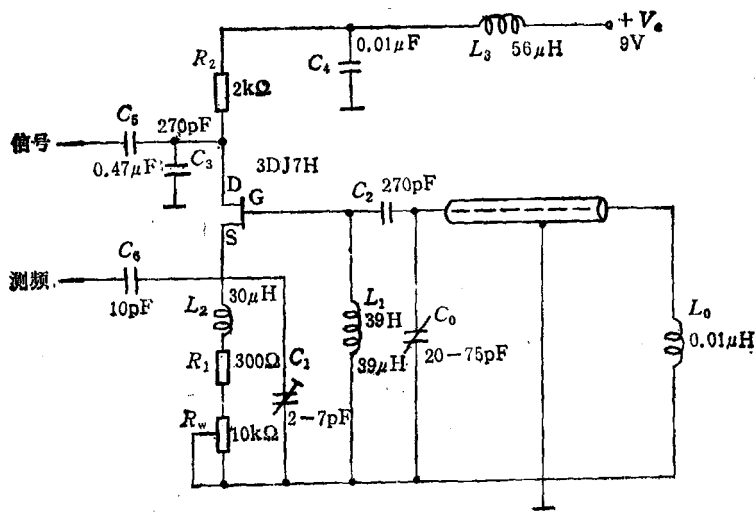


图1 振荡检波探头电原理图

振条件时,样品就能充分从射频中吸收能量,振幅显著改变.同时,因为临近 V_p 的状态时,信号在振荡的正半周对幅度进行较大调制,而在负半周则被限止成几乎是等幅,也就完成了对高频信号的检波,从漏极输出低频磁共振信号.另外,工作在 V_p 附近,电流小,相应噪声也降低,有利于信噪比的提高.

二、实验结果

我们用同一探头电路分别观测了核磁和顺磁共振信号.当振荡器工作频率在65MHz,样品(FeCl_3 水溶液)有效体积为 50mm^3 时,NMR大调场共振信号信噪比达50:1(见图

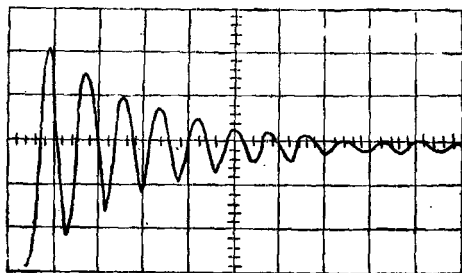


图2 FeCl_3 水溶液的大调场 NMR 信号
($f_0 = 65\text{MHz}$) 一分钟成像照片

2);当振荡在40MHz,样品(DPPH)体积为 0.1cm^3 时,在直径150mm的螺线管直流磁场中,观察到ESR信号的信噪比优于20:1(见图3).大调制均用50Hz正弦波.

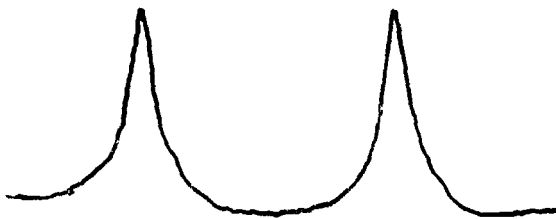


图3 DPPH的大调场 ESR 信号($f_0 = 40\text{MHz}$)
由数字存储示波器取样保持后函数记录仪记录

我们曾与单个晶体管的探头电路进行了比较,如文献[3]的探头的信号幅度仅为单场效应管探头的一半.在我们的实验过程中,没有找到文献[4]所叙述的B工作点的高灵敏度.

- [1] F. N. H. Robinson, *J. Sci. Instrum.*, **42** (1965), 653.
- [2] 崔慧聪,物理实验, No. 1 (1980), 2.
- [3] S. Y. Feng Shihyu, *Rev. Sci Instrum.*, **40** (1969), 963.
- [4] 吴苍生、韩红光,物理, 7-4(1978), 250.

敬告作者

由于编辑部办公经费紧张和来稿数量较大,经研究决定,为节约邮资,凡1988年10月以后的来稿,经审查后不适合我刊发表的,一律不退稿,请作者自留底稿,对不适合我刊发表的稿件,编辑部一般在收到稿件后三个月内,将处理结果函告作者.

«物理»编辑部 1988年4月