

近代物理实验报告：单电子固态量子计算

学号 匡亚明学院

2019 年 2 月 29 日

目录

1	引言	2
1.1	量子计算背景	2
2	实验原理	2
2.1	量子计算基本概念	2
2.1.1	量子比特	3
2.1.2	量子逻辑门	3
2.1.3	量子测量	3
2.1.4	量子算法	3
2.2	量子计算的实验实现	3
3	实验内容及结果	3
3.1	连续波实验	3
3.2	拉比振荡实验	3
3.3	T_2 实验	3
3.4	D-J 算法实验	3
3.5	设计实验	3
4	思考题	3

1 引言

1.1 量子计算背景

过去的几十年中，经典计算机经历了快速的发展时期。第一台通用电子计算机 ENIAC 占地约 170 平方米，如今的掌上电脑已经可以放进口袋。体积的巨大变化，主要归功于集成电路工业的飞速发展。英特尔公司创始人之一戈登·摩尔曾提出著名的摩尔定律，用以总结和预期集成电路的发展，即集成电路上可容纳的晶体管数目，约每隔 18 个月便会翻一倍，其性能也会翻倍。然而随着电路集成度越来越高，摩尔定律也遇到了新的挑战。因为按照摩尔定律描述的发展趋势，集成电路的工艺已进入纳米尺度。在芯片上如此高密度的集成元器件，热耗散问题是一个巨大的挑战。更严重的是，随着集成电路的工艺进入纳米尺度，量子效应会逐渐显现并占据支配地位。当描述元器件工作的物理规律由经典物理转变为量子力学，试图按照原来的方式保持集成电路的发展趋势就非常困难了。

既然在微观尺度下，量子力学效应占主导，那有没有可能利用量子力学效应来构造计算机呢？费曼最先在 1982 年指出，采用经典计算机不可能以有效方式来模拟量子系统的演化。我们知道，经典计算机与量子系统遵从不同的物理规律，用于描述量子态演化所需要的经典信息量，远远大于用来以同样精度描述相应的经典系统所需的经典信息量。费曼提出用量子计算则可以精确而方便地实现这种模拟。1985 年，David Deutsch 深入研究了量子计算机是否比经典计算机更有效率的问题。他首次在理论上描述出了量子计算机的简单模型——量子图灵机模型，研究了它的一般性质，预言了它的潜在能力。但当时的人们还不知道有什么具体的可求解问题，量子计算能比经典计算更有优越性。1994 年，美国数学家 Peter Shor 从原理上指出，量子计算机可以用比经典计算机快得多的速度来求解大数的质因子分解问题。由于大数质因子分解问题是现代通信与信息安全的基石，Shor 的开创性工作引起了巨大的关注，其可期待的辉煌应用潜力有力地刺激了量子计算机和量子密码等领域的研究发展，成为量子信息科学发展的重要里程碑之一。1996 年 Grover 发现了另一种很有用的量子算法，即所谓的量子搜索算法，它适用于解决如下问题：从 N 个未分类的客体中找出某个特定的客体。经典算法只能是一个接一个地搜寻，直到找到所要的客体为止，这种算法平均地讲要寻找 $N/2$ 次，成功几率为 $1/2$ ，而采用 Grover 的量子算法则只需要 \sqrt{N} 次。

随着一系列量子算法的提出，量子计算对某些重要问题相对于已知的经典计算方式的计算能力的展现出巨大的优势。量子计算不仅吸引着众多的科研人员，其应用前景也吸引了谷歌、微软、IBM 等国际知名公司参与这一领域的竞争。近年来，各研究团队更是试图实现“量子霸权” (Quantum supremacy)，即通过量子计算实现对经典计算能力的极限的突破

2 实验原理

2.1 量子计算基本概念

经典计算机需要信息的载体，逻辑操作，状态读出等一系列基本元素。量子计算机也类似，首先我们需要量子信息的载体，即量子比特。然后需要具备对量子比特进行初始化，操控和读出的能力。我们利用一系列的逻辑操作，构成量子算法，来实现特定的计算目的。

2.1.1 量子比特

2.1.2 量子逻辑门

2.1.3 量子测量

2.1.4 量子算法

2.2 量子计算的实验实现

3 实验内容及结果

3.1 连续波实验

3.2 拉比振荡实验

3.3 T_2 实验

3.4 D-J 算法实验

3.5 设计实验

4 思考题

请利用布洛赫球表示以下量子态：

如果实验中施加的微波频率 f 与共振频率 f_0 有偏差，即 $f = f_0 + \delta f$ ，拉比振荡的频率会如何变化？

拉比振荡频率与微波功率的关系是什么？

参照 $n = 1$ 的特殊情况，即图 1.5 所示的量子线路图，画出一般情况的 D-J 算法量子线路图，并解释算法原理

参考文献