

**T.C.**

**Pamukkale Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi**  
**Pamukkale University – Engineering Faculty**



# **STAJ DEFTERİ**

**Practical Training Notebook**

**Pamukkale Üniversitesi**  
**Mühendislik Fakültesi, Kınıklı Kampüsü, Denizli-TR**  
**Tel.: 009-0258-2963303 / Fax: 009-0258-2963262**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü**  
**Electrical&Electronics Engineering Department**

**Öğrencinin / Student**

**Adı-Soyadı / Name-Surname** : İsmail Kalay  
**Numarası / ID Number** : 09247034  
**Staj Türü / Pr. Tr. Type** : Meslek / Profession

**Kuruluşun / Institution**

**Adı / Name** : Jagiellonian University, Photonics Department  
**Adresi / Address** : Zakład Fotoniki, Instytut Fizyki UJ, Reymonta  
4, 30-059 Krakow, POLAND

**Stajın Başlangıç Tarihi** :02.06.2014  
**(Starting Date)**  
**Stajın Bitiş Tarihi** :30.06.2014  
**(Ending Date)**  
**İş Günü Sayısı** :20  
**(Working Day Number)**

**İşyeri Sorumlu Amirinin / Practical Training Supervisor**

**Adı-Soyadı /Name-Surname** :  
**Ünvanı / Title** :  
**Tarih / Date** :  
**Düşünceler/Discussions** :



**İşyeri Kaşesi veya Mührü ve İmza / Company Stamp and Signature**

Haftalık Staj Özeti / Weekly Practical Training Report		
Haftanın Tarihleri / The Week of ...02.06.2014.... - ...08.06.2014....		
Gün / Day	Yapılan İş / Performed Work	Sayfa / Page
<b>Pazartesi</b> <b>Monday</b>	Fotonik Departmanı Tarihçesi History of Photonic Department	6
<b>Salı</b> <b>Tuesday</b>	Elmas Laboratuvarı Diamond Laboratory	7
<b>Çarşamba</b> <b>Wednesday</b>	Elmastaki Nitrojen Boşlukları Nitrogen Vacancy in Diamonds	8
<b>Perşembe</b> <b>Thursday</b>	Nitrojen Boşluklarının Kullanım Alanları Nitrogen Vacancy Applications	9
<b>Cuma</b> <b>Friday</b>	NV Enerji Seviyeleri NV Energy Levels	10
<b>Cumartesi</b> <b>Saturday</b>		
Staj Amiri Onayı / Supervisor Approval		

Haftalık Staj Özeti / Weekly Practical Training Report		
Haftanın Tarihleri / The Week of ...09.06.2014.... - ...15.06.2014....		
Gün / Day	Yapılan İş / Performed Work	Sayfa / Page
<b>Pazartesi</b> <b>Monday</b>	Görünür ve Kızılötesi Tayfı NV Visible and IR Spectrum	11
<b>Salı</b> <b>Tuesday</b>	Elektrik ve Manyetik Dipol Geçişleri E and M Dipole Transition	12
<b>Çarşamba</b> <b>Wednesday</b>	NV Kutuplanması NV Polarization	13
<b>Perşembe</b> <b>Thursday</b>	Corpus Christi Resmi Tatili Corpus Christi Official Holiday	
<b>Cuma</b> <b>Friday</b>	Temel Durum Manyetik Rezonans(MR) Ground State MR of single NV	14
<b>Cumartesi</b> <b>Saturday</b>		
Staj Amiri Onayı / Supervisor Approval		

Haftalık Staj Özeti / Weekly Practical Training Report		
Haftanın Tarihleri / The Week of ...16.06.2014.... - ...22.06.2014....		
Gün / Day	Yapılan İş / Performed Work	Sayfa / Page
<b>Pazartesi</b> <b>Monday</b>	$^{14}\text{N}$ Aşırı-hassas Ayrışması $^{14}\text{N}$ Hyperfine Splitting	15
<b>Salı</b> <b>Tuesday</b>	Çukur-Yakma Matematik Modeli Hole-Burning Model	16
<b>Çarşamba</b> <b>Wednesday</b>	Otomatik Frekans Ölçeklendirme Programı Frequency Scale Programme	17
<b>Perşembe</b> <b>Thursday</b>	Yeni Deney Kurulumu I New Experiment Setup I	18
<b>Cuma</b> <b>Friday</b>	Yeni Deney Kurulumu II New Experiment Setup II	19
<b>Cumartesi</b> <b>Saturday</b>		
Staj Amiri Onayı / Supervisor Approval		

Haftalık Staj Özeti / Weekly Practical Training Report		
Haftanın Tarihleri / The Week of ...23.06.2014.... - ...29.06.2014....		
Gün / Day	Yapılan İş / Performed Work	Sayfa / Page
<b>Pazartesi</b> <b>Monday</b>	Tam geniş yarı maximum – Pompa güç(mW) Grafikleri FWHM – Pump power(mW) Graphs	20
<b>Salı</b> <b>Tuesday</b>	RF Güç Ayırıcısı/Birleştiricisi RF Power Splitter/Combiner	21
<b>Çarşamba</b> <b>Wednesday</b>	Akustik Optik Modülatör Acoustic Optic Modulator	22
<b>Perşembe</b> <b>Thursday</b>	Puls Sinyal Üretici Pulse Signal Generator	23
<b>Cuma</b> <b>Friday</b>	Rb Soğuk Atom Laboratuvarı Rb Cold Atom Lab	24
<b>Cumartesi</b> <b>Saturday</b>		
Staj Amiri Onayı / Supervisor Approval		

<p align="center"><b>Haftalık Staj Özeti / Weekly Practical Training Report</b></p> <p align="center"><b>Haftanın Tarihleri / The Week of ...30.06.2014.... - ...06.07.2014....</b></p>		
<b>Gün / Day</b>	<b>Yapılan İş / Performed Work</b>	<b>Sayfa / Page</b>
<b>Pazartesi Monday</b>	Staj Özeti Summary of Internship	25
<b>Salı Tuesday</b>		
<b>Çarşamba Wednesday</b>		
<b>Perşembe Thursday</b>		
<b>Cuma Friday</b>		
<b>Cumartesi Saturday</b>		
<p><b>Staj Amiri Onayı / Supervisor Approval</b></p>		

<p align="center"><b>Haftalık Staj Özeti / Weekly Practical Training Report</b></p> <p align="center"><b>Haftanın Tarihleri / The Week of ..... - .....</b></p>		
<b>Gün / Day</b>	<b>Yapılan İş / Performed Work</b>	<b>Sayfa / Page</b>
<b>Pazartesi Monday</b>		
<b>Salı Tuesday</b>		
<b>Çarşamba Wednesday</b>		
<b>Perşembe Thursday</b>		
<b>Cuma Friday</b>		
<b>Cumartesi Saturday</b>		
<p><b>Staj Amiri Onayı / Supervisor Approval</b></p>		

**Yapılan İş / Performed Work :** History of Photonic Department **Tarih / Date :** 02.06.2014

Yıllarca çabalama sonucunda, 1964 yılında Muazzam Kral Casimir Papa'dan Polonya Krallığının başkenti olan Krakow'a üniversite kurulması için izin aldı. Prag(1348)'tan sonraki Orta Avrupada kurulacak olan 2. üniversiteydi. Kısa süre sonra; Viyana(1365), Pécs (1367), Erfurt (1379) ve Heidelberg (1386) üniversiteleri kuruldu.

Kimyacı Karol Olszewski (1846 - 1915) ve fizikçi Zygmunt Wroblewski (1845 - 1888), 1883 yılında ilk defa havadan liquefy oksijen ve nitrojeni sıvılaştırdı.

Fizik Profesörü Henryk Niewodniczanski (1900 - 1968) Atom Fiziği Bölümünü kurdu.

2005 yılında Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu tarafından (29,323,200 PLN) alınan fon ile Krakowda gerçek bir konferans merkezi "Auditorium Maximum" adıyla açıldı.

"Bırakın paha biçilmez bilimlerin incisi olsun. Olsun ki, basiretlerinin olgunluğu için, erdemlerinin onculuğu için ilimin bütün dallarında yetkin goze carpan insanlar ortaya cikabilsin. Birakin tukenmeyen bir ogrenme pinari olsun ve kim alimligin vasiflarini ozumsemek istiyorsa bu pınardan kana kana icsin." U.J Kurucusu, Muazzam Kral Casimir, 12 Mayıs 1364

/\*

\*

\*

\*/

In 1364, after many years of endeavour, King Casimir the Great received permission from the Pope to establish a university in Krakow, the capital of the Kingdom of Poland. It was the second university to be founded in Central Europe, after Prague in 1348. Soon afterwards other universities were established in the area: in Vienna (1365), Pécs (1367), Erfurt (1379) and Heidelberg (1386).

The chemist Karol Olszewski (1846 - 1915) and the physicist Zygmunt Wroblewski (1845 - 1888), who were the first to liquefy oxygen and nitrogen from the air in 1883.

Henryk Niewodniczanski (1900 - 1968), professor of physics, founded the study of atomic physics in Krakow.

In 2005 the Auditorium Maximum was opened; the first real conference centre in Cracow. The construction was financed by the European Regional Development Fund (29,323,200 PLN).

"Let it be a pearl of the inestimable sciences, so that it may bring forth men outstanding for the maturity of their counsel, pre-eminent for their virtue, and well qualified in all the branches of knowledge. Let it become a refreshing fount of learning, from whose plenitude all those wishing to imbibe the skills of scholarship may drink their fill."

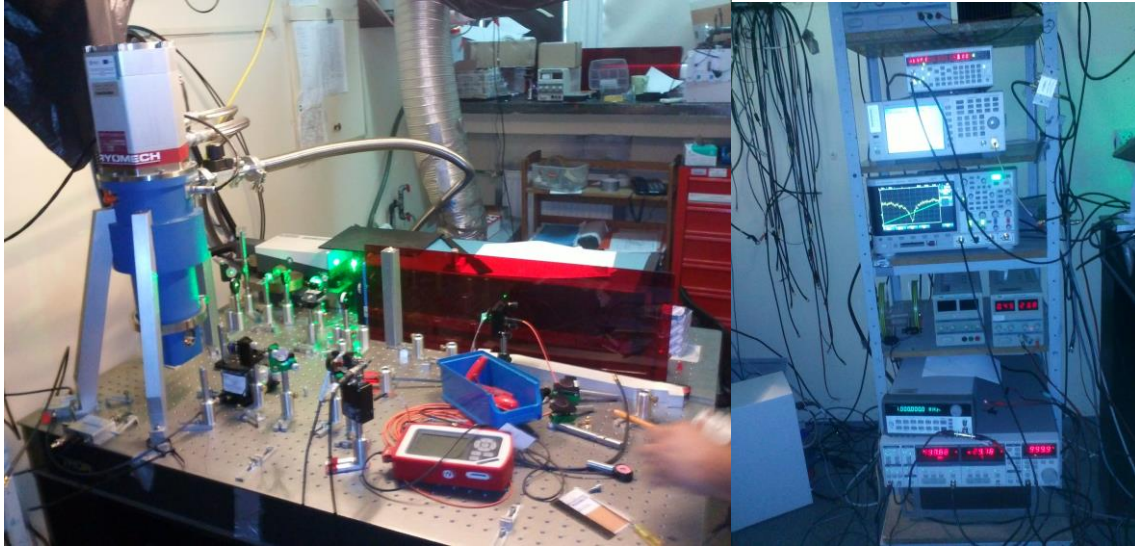
U.J. founder, King Casimir the Great, uttered on 12 May 1364

**Staj Amiri / Supervisor**

Prof. Dr.Wojciech Gawlik'in danışmanlığında 5 yıllık (Lisans + Yüksek Lisans) eğitimini Jagiellonian Üniversitesi'nde bitirmekte olan Daniel Rudnicki ve Doktora öğrencisi Mariusz Mrozek Elmas laboratuvarında genel bir tanıtım yaptılar.Sağdaki resimde yukarıdan aşağıya doğru çalışan cihazlar:

- 1-Sinyal Üreteci"Probe" (frekans (sweep)tarama özellikli )
- 2-Sinyal Üreteci"Pump"(2.7-3 Ghz Mikroşerit devresi için)
- 3-Ossiloskop(Lock-in yükselteçten gelen sinyali gözlemlemek için)
- 4-Güç Kaynağı(24v-0.5A AOM(Akustik Optik Modülatör) için)
- 5- Sinyal Üreteci(Lock-in yükseltece 1Khz civarında referans sinyali vermek için)
- 6-Lock-in Yükselteç (Nitrojen boşluğundan ışıyan Kırmızı renkli fotonlar Fotodedektörden fiberoptik kablo ile Fotodiyota ulaşır.Fotodiyottan gürültülü gelen elektrik sinyali halindeki gürültüsünü azaltmak için yükselteç görevindedir.)

1998'den bu yana California-Berkeley Üniversitesi (UCB) ile Jagiellonian Üniversitesi öğrenci ve akademik personel değişimiyle birlikte atom fiziği ve fotonik alanında ortak bilimsel araştırma projeleri de yürütüyor. UCB Dmitry Budker grubu ve UJ Wojciech Gawlik grubu uluslararası ödenekli araştırma projeleri ile araştırmalarına devam etmektedirler.



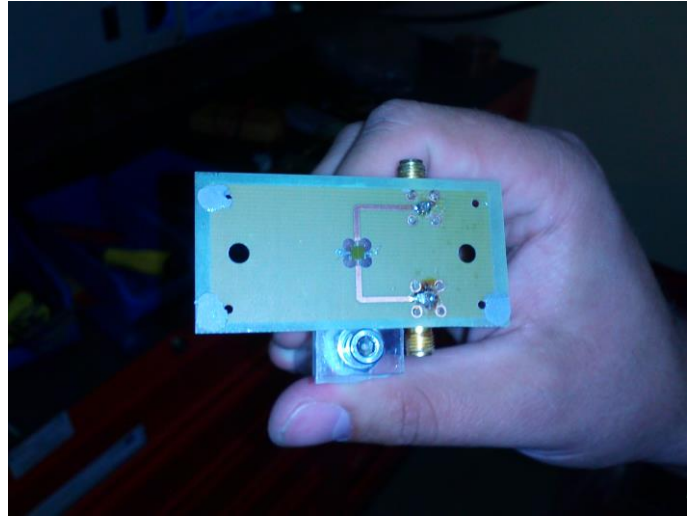
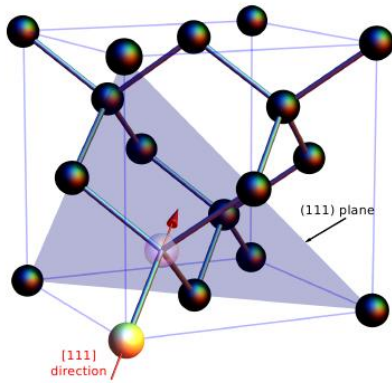
By Prof. Dr.Wojciech Gawlik's guidance, Daniel Rudnicki who is finishing 5 years education(Bachelor+Master) and Phd student Mariusz Mrozek introduce me the Diamond Lab.

Since 1998, physicists from the University of California at Berkeley (UCB) and the Jagiellonian University at Krakow (UJ) have cooperated in joint research projects in the areas of atomic physics and photonics, including student and faculty exchange. The UCB group of Dmitry Budker, and the UJ group of Wojciech Gawlik have so far received several international grants for their research collaboration.



**Yapılan İş / Performed Work :** Nitrogen vacancies in Diamonds **Tarih / Date :** 04.06.2014

Tek karbon atomu(Çekirdek+Elektron), çekirdeğin(Nötrön+Proton) etrafındaki yörüngelerde  $1s^2 2s^2 2p^2$  şeklinde yerleşmiş 6 elektron bulundurulur.Bu yüzden atom numarası 6'dır.Nitrojen boşluğu Elmasta 4 farklı şekilde oluşabilir.Çünkü nitrojen atomu(Sarı renkte), boşluğun 4 komşu C atomu yerini işgal edebilir.4 yerleşim ihtimalinden birini alttaki kristal kafesin [111]-eksenine yerleşmiş olarak görebilirsiniz.Nötr nitrojen-boşluğu( $NV^0$ ); 3'ü bitişik Karbon atomlarından ve 2'si Nitrojen atomundan alarak 5 elektrona sahiptir.Bir  $NV^0$  merkezi kafesten 1 elektron aldığıında  $NV^-$  merkezine dönüşür. ( $NV^- = NV^0 + e^-$ )



A single carbon atom has the electronic configuration  $1s^2 2s^2 2p^2$ , in total six electrons and accordingly atomic number 6.Four different orientations of the NV are possible, because the nitrogen atom can occupy any of the four neighbor atom places of the vacancy.One of the four NV orientations is aligned with the [111]-axis of the crystal lattice and shown in the picture.The neutral nitrogen-vacancy ( $NV^0$ ) consist of five electrons, three from the vacancy adjacent carbons and two from the nitrogen.A  $NV^0$  center attains an electron from the lattice and converts to a  $NV^-$  centre.  $NV^- = NV^0 + e^-$

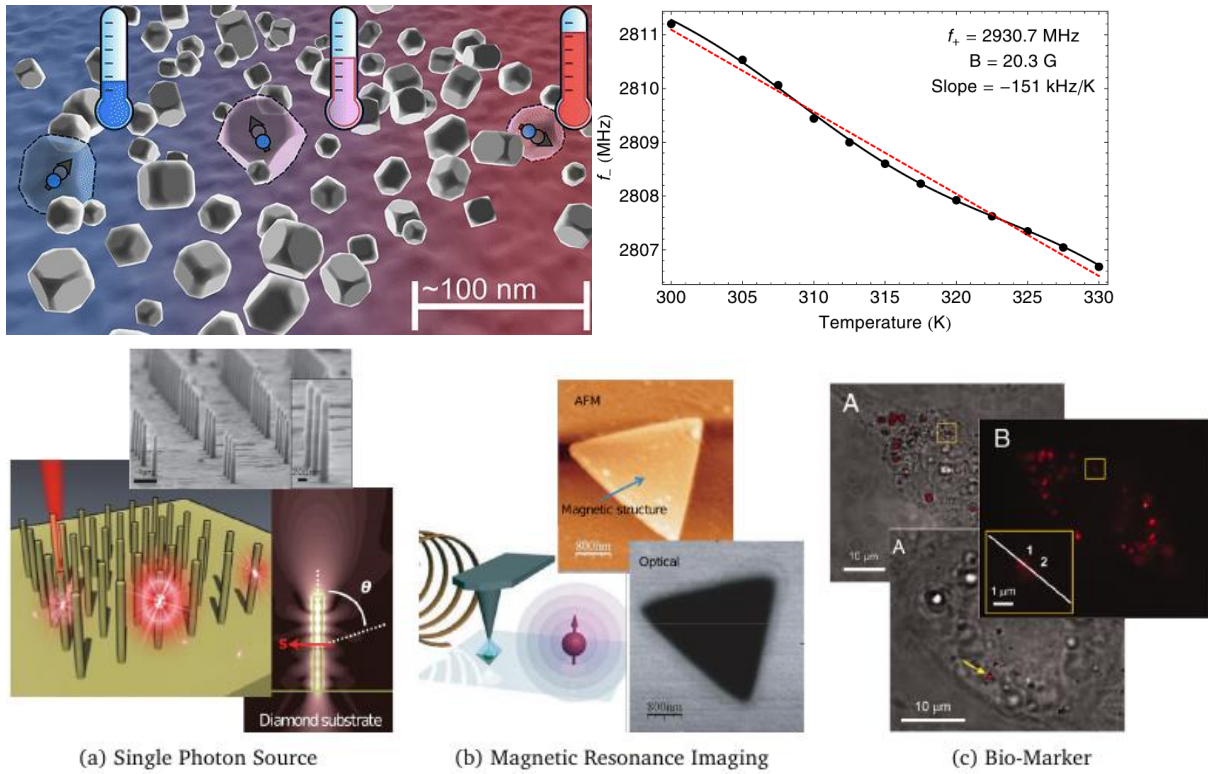
**Staj Amiri / Supervisor**



Yapılan İş / Performed Work : Nitrogen Vacancy Applications Tarih / Date : 05.06.2014

**Uygulama Alanları:**

- Manyetik ve Elektrik Alan Dedektörü
- QIP – Kuantum Bilgi İşleme(Kuantum anahtar dağıtımı, Kuantum Kriptoloji vb.)
- Bio-Görüntüleme Teknolojileri(Floresans ışıma vb)
- Manyetik Rezonans Görüntüleme
- Tek Foton Kaynağı
- Yüksek-Hassasiyetli Nano Sıcaklık Sensörleri



(Sağ üst/ Right-Up) Pic. Ref. PHYSICAL REVIEW B 89, 245202 (2014)

- The detection of magnetic fields
- QIP - Quantum information processing(Quantum Key Distributing, Quantum Cryptology etc.)
- The detection of electric fields
- Bioimaging
- Single photon source
- High-Precision Nanoscale Temperature Sensing

Staj Amiri / Supervisor

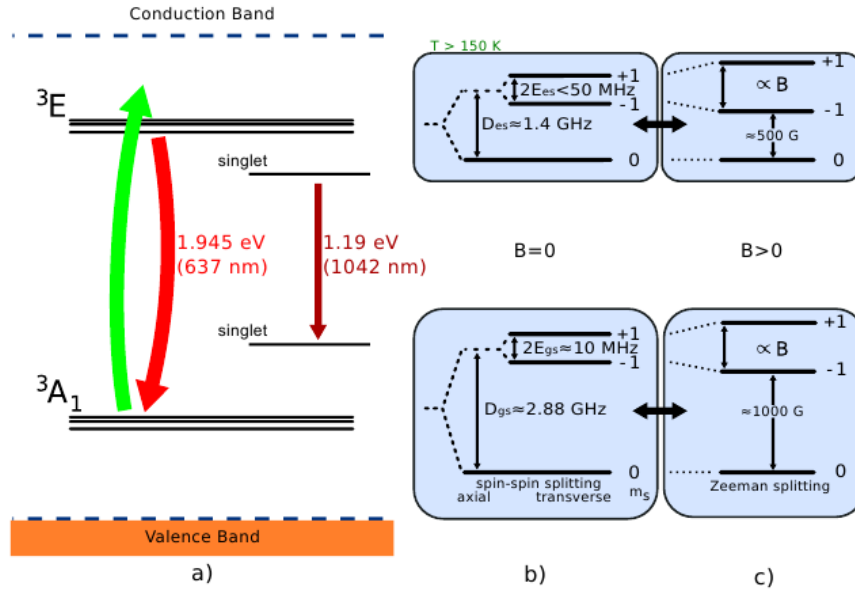
Yapılan İş / Performed Work : NV<sup>-</sup> Energy Levels

Tarih / Date : 06.06.2014

Altta enerji diyagramı NV<sup>-</sup> elektron yörünge yapısını göstermektedir.  $m_s = \pm 1$  ve  $m_s = 0$  olmak üzere temel ve uyarılmış seviyelerde 3'er alt seviye bulunmuştur. Görünür Sıfır-Fonon çizgisi (637 nm) üçlü temel durum ( $^3A_1$ ) ve üçlü uyarılmış durum ( $^3E$ ) arasındaki elektrik dipol geçişine karşılık gelmektedir. Kızılötesi Sıfır-Fonon çizgisi (1042 nm) 2 orta-tekil (singlet) enerji seviyeleri arasındaki geçişe karşılık gelir. ( $E_{\text{foton}} = hf$  ve  $f = c/\lambda$ )

NV<sup>-</sup> merkezine manyetik alan uygulandığında  $m_s = 0$  and  $m_s = -1$  alt seviyelerinde 2.88 GHz frekanslı enerji ayrışması meydana gelmektedir.

Orta-tekilerin (singlets) konumu ve sırası hala bilinmemektedir.



Pic.Ref. NV Defects in Diamond for Sub-Millimeter Magnetometry E.Bauch Berlin(2010)

This energy diagram shows main aspects of the NV<sup>-</sup> electron structure. The visible zero-phonon line (637 nm) refers to electric dipole transitions between the triplet ground ( $^3A_1$ ) and excited state ( $^3E$ ). The infrared zero-phonon line corresponds to a transition between two intermediate singlet levels.

The ground state is probably the most studied of any of the possible states such as hole burning, optical detected MR, electron spin resonance and Raman heterodyne measurements.

Spin dynamics of the NV center are observed by applying a magnetic field in the order of the energy splitting between the  $m_s = 0$  and  $m_s = -1$  sublevel ( $\approx 2.88$  GHz)

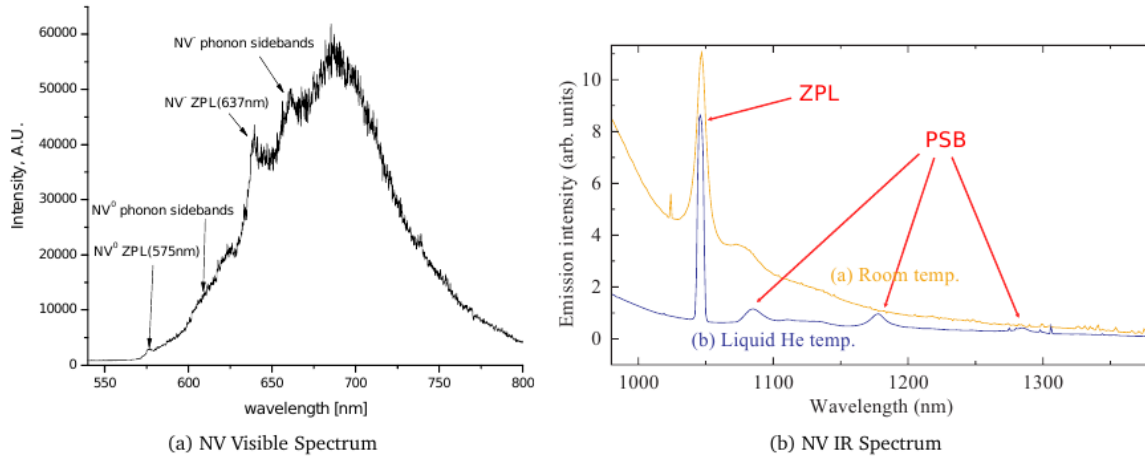
The exact position and order of the singlets is still unknown.

Staj Amiri / Supervisor

Yapılan İş / Performed Work : NV<sup>-</sup> Visible and IR Spectrum Tarih / Date : 09.06.2014

Optik pompalama sistemi ile Spin-polarizeli NV<sup>-</sup> merkezleri oluşturulabilir. Böylelikle görünür Sıfır-Fonon çizgisinin ışımasındaki (Floresans) değişim okunabilir. Nötr (NV<sup>0</sup>) merkezi Sıfır-Fonon çizgisini 575 nm dalgaboylu foton enerjisi ( $E_{\text{foton}} = hf$  ve  $f = c/\lambda$ ) (2.156 eV) ile gösterir. (Görünür spectrum 1. Peak)

Temel enerji seviyesindeki çukur-yakma, optik yolla tespit edilen manyetik rezonans (ODMR) araştırmalarında, Yeşil lazer ile uyardıktan sonra Nitrojen boşluğundan geri ışılan (Kırmızı+yeşil (geri yansıyan)) fotonlar optik filtreye ulaşır. Kullanılan optik filtreden yalnızca yaklaşık 637-700 nm arasındaki kırmızı dalgalı boyuları geçebilir. Bu geçen Kırmızı renkteki foton demetleri nin şiddetinin fotodetektörden elektrik sinyaline çevrilmiş halini osiloskopta görebiliriz. Çıplak gözle sadece yüksek miktarda yeşil (elmasın yüzeyinden yansıyan) ve düşük miktarda Kırmızı renkte ışımaya görebiliriz.  
Not: Floresans: Üzerine gönderilen enerjiye (akım, lazer vb) karşılık ışık verme tepkisi.



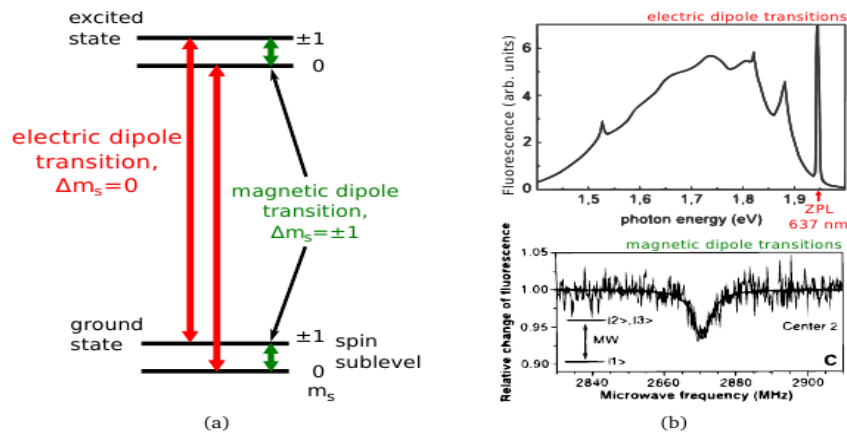
It is possible to spin polarize the negative nitrogen-vacancy (NV<sup>-</sup>) center by optically pumping the system and read out the spin polarization via a change in fluorescence of the visible zero-phonon line. The center (NV<sup>0</sup>) exhibits a zero-phonon line at 575 nm (first peak at visible spectrum) ( $E_{\text{foton}} = hf$  ve  $f = c/\lambda$ ) (2.156 eV).

The left plot shows a spectrum of a single NV center in diamond for the visible as it was published by Kim et al. [3]. The right plot shows the fluorescence spectrum of NV ensembles published by Rogers et. al [50]. The NV<sup>-</sup> possesses two zero-phonon lines (ZPL). One visible at 637 nm (left) and a weaker infrared at 1042 nm [50]. Both are accompanied by several phonon sidebands (PSB).

Staj Amiri / Supervisor

Şekil (a)'da gösterilen enerji şeması negatif yüklü nitrojen boşluğuna( $NV^-$ ) aittir. Üçlü ( $S=1$ ) temel ve uyarılmış seviye dönme durumlarının her birisi  $m_s = 0$  ve bozulmuş(manyetik alan uygulanınca ortaya çıkan)  $m_s = \pm 1$  olarak 3 alt-durumdan oluşur. Optik geçiş, temel spin kuantum numaraları değişmeden( $\Delta m_s=0$ ) uyarılmış durumdan temel duruma geçiş(elektrik dipol geçişi) olarak tanımlanır. Böyle bir geçiş  $NV^-$  görünür sıfır-çizgisi 637 nm 1.945 eV enerji ile şekilde(b-üst) gözlemlenir.

Manyetik dipol geçişi, farklı alt-durumlar arasındaki manyetik kuantum sayısı  $m_s$  değişimi olarak tanımlanabilir.  $NV^-$  merkezine mikrodalga uygulanmasının sonucunda temel seviyede sıfır-alan ayrışması oluşur. Manyetik dipol geçişi, bu ayrışmanın ışımasıyla ölçülür.



In Fig.(a) an energy level scheme is shown, that is similar to that of the negative charged nitrogen-vacancy ( $NV^-$ ). The ground and excited state are spin triplet states ( $S=1$ ), each with a  $m_s = 0$  and degenerate  $m_s = \pm 1$  magnetic sublevel. An optical transition is described by an electric dipole transition between a ground and excited state and selection rules require, that the spin quantum number  $m_s$  does not change. Such a transition is for example the visible zero-phonon line at 637 nm of the  $NV^-$  center with an energy of 1.945 eV, shown in upper plot of Fig.(b).

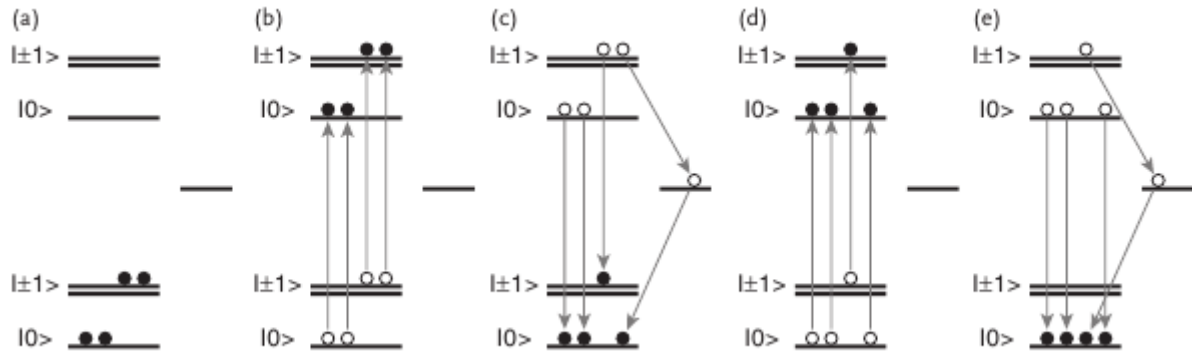
A magnetic dipole transition describes a transition between different spin sublevels with a change in magnetic quantum number  $m_s$ . The magnetic dipole transition is measurable by monitoring the fluorescence of the  $NV^-$  center while applying a microwave in the order of the zero-field splitting of the ground state.

NV<sup>-</sup> merkezinin ilk ilginç özelliği olan optik olarak kutuplaştırılabilmesi, yüksek çözünürlüklü manyetikmetre ve spin kuantum bit(qubit) alanında kritik bir noktaya getiriyor.Kutuplaştırma tercihen elektronları belli bir seviyeye toplama manasına gelmektedir. NV<sup>-</sup> açısından ise, optik uyartım ile elektronları  $m_s = 0$  temel duruma toplamaktır.

Doğru lazer(514 nm or 532 nm) ile pompalanan NV<sup>-</sup> merkezindeki elektronlar optik uyartım sayesinde temel spin alt-seviyesinden ( $m_s = 0$  ve  $m_s = \pm 1$ ) üst seviye olan uyarılmış spin seviyesine çıkarlar(b).

Optik olarak uyarılmış elektronlar, dalga boylu( $\lambda = 637$  nm) foton yayarak veya Orta-tekil seviye üzerinden temel duruma geçerler(c).

Bir kaç optik döngüden sonra, NV<sup>-</sup> temel-durum seviyesine (kuantum numarası  $m_s = 0$ ) seviyesine kutuplanmış olur.



The first interesting property of the NV<sup>-</sup> center is its optical polarizability, which is crucial if the NV<sup>-</sup> center is to be used both as a spin quantum bit (qubit) and as a probe for high-resolution magnetometry. Polarization preferentially populates a certain state. In the case of the NV<sup>-</sup>, optical excitation preferentially populates the  $m_s = 0$  ground spin state of the center.

By pumping the NV<sup>-</sup> center with a true laser (e.g., 514 nm or 532 nm), the population is optically excited from the ground spin sublevels  $m_s = 0$  and  $m_s = \pm 1$  to the corresponding optically excited spin levels(b).

From the optically excited electron state the system can decay radiatively, either directly towards the ground state with emission of photons ( $\lambda = 637$  nm), or nonradiatively, towards the ground state through the singlet intermediate spin level(c).

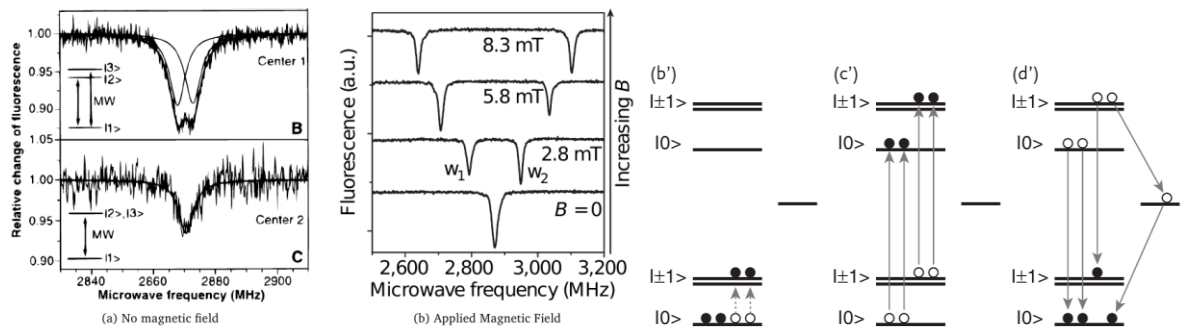
After a few optical cycles, the NV<sup>-</sup> finally becomes polarized in the ground-state sublevel with the quantum number  $m_s = 0$

**Yapılan İş / Performed Work:** Ground State MR of single NV<sup>-</sup> **Tarih / Date :** 12.06.2014

$m_s = 0$  konumunda kutuplanmış NV<sup>-</sup> ele aldığımızda, mikro-şerit devreye mikrodalga frekansı 2.87 Ghz sıfır manyetik alan uygulandığında  $m_s = 0$  dan  $m_s = \pm 1$  alt-seviyesine elektronların bazıları çıktığını anlayabiliriz(b).

Uyarılmış poplasyondan(c) bazıları orta-tekil seviyesi üzerinden rahatlar(alt seviyeye düşme) bazıları ise  $m_s = \pm 1$  seviyesine düşmektedirler(d).NV<sup>-</sup> merkezinden gelen floresans şiddetinde(intensity) (c) ve (d) grafikleri arasındaki farktan kaynaklanan %30'luk düşüş oluşturan bir çukur gözlemlenir.

Soldaki şekilde NV<sup>-</sup> merkezine manyetik alan uygulanınca(kalıcı-mıknatıs kullanılır genellikle)  $w_1$  ve  $w_2$  frekanslarında bu floresans şiddetindeki düşüş NV<sup>-</sup>(2.87Ghz)frekansı etrafında gözlemlenir.Bu demektir ki manyetik alan  $m_s = \pm 1$  alt-seviyelerindeki elektronların arasını açmaktadır.Manyetik alan uygulanmadığı durumlarda temel durumun 2 alt-seviyesindeki( $m_s = \pm 1$ ) elektronlar birlikte durmaktadırlar.



Considering an NV<sup>-</sup> center initialized (polarized) in its ground state with  $m_s = 0$ , manipulation of the NV<sup>-</sup> spin state consists of driving the ground-state spin sub-level transition from  $m_s = 0$  to  $m_s = \pm 1$ . The controlled ground-state spin transition is achieved by applying a resonant microwave field ( $\sim 2.88$  GHz at zero magnetic field) with the transition to access

This fraction of raised population can relax to the ground state nonradiatively through the intermediate singlet level: the nonradiative relaxation mechanism causes a detectable drop ( $\sim 30\%$ ) in the fluorescence of the NV<sup>-</sup> center. Note the difference between (c), where all the population cycles radiatively, and (d'), where only a fraction of it cycles radiatively.

Left-hand side when magnetic field applied, we can observe 2 different frequency( $w_1, w_2$ ) around the center frequency of NV<sup>-</sup>(2.87Ghz).It means that magnetic field broaden  $m_s = \pm 1$ . We couldnt observe 2 frequency at hole without magnetic field(Permanent magnet is usually using)

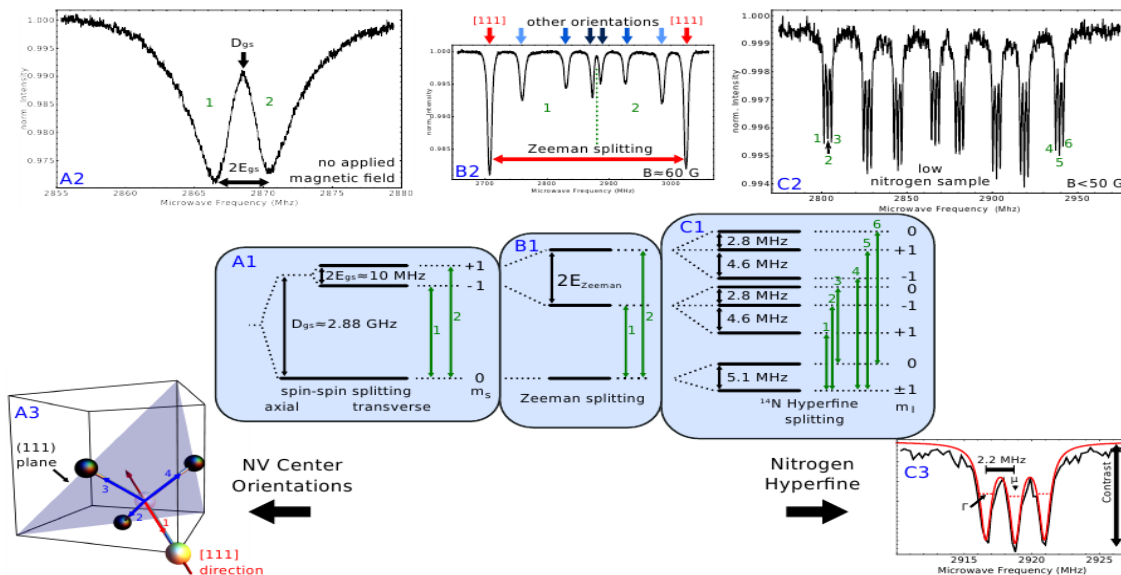
**Staj Amiri / Supervisor**



Tek NV<sup>-</sup> merkezinin manyetik alan uygulanmamış temel durum enerji şeması ve Frekans Spectrumu, eksen enine sıfır-alan ayrışması(2 manyetik dipol geçişi) Şekil(A1-A2) gösterilmiştir.

2 manyetik dipol geçişinden kaynaklanan 1-2 çukurlarının genişliği tek NV'ninkinden daha geniştir.Çünkü elde ettiğimiz sinyal NV<sup>-</sup> merkezinin 4 farklı yönünden(A3) gelen sinyallerin ortalamasıdır.Statik manyetik alan(kırmızı FDMR sinyalini ayırıştırmak için) ms =  $\pm 1$  alt-seviyesinin Zeeman enerjisini 2 kat artırır(B1-B2).

Etkili manyetik alan sayesinde her yönünde 2 manyetik dipol geçişi olan 4 yöne sahip NV-merkezinin 8 rezonan frekansını şekil'de (C2) görebilirsiniz. Temel seviyedeki  $m_s = 0$  2 alt-duruma parçaya,  $m_s = \pm 1$  is 3 er alt-duruma ayrılmıştır (C1).



Ground state MR of NV<sup>-</sup> (A1 - C1) Pic.Ref. NV Defects in Diamond for Sub-Millimeter Magnetometry  
E.Bauch Berlin(2010)

The ground state energy level scheme of a single NV center without any applied magnetic field is shown in Fig.(A1-A2) and with axial( $D_{gs}$ ) and transverse( $2E_{gs}$ ) zero-field splitting two magnetic dipole transitions exist.

The peak widths for the two dipole transitions are broader than that of a single NV, because the signal is an average over the signals, that belong to the four different orientations of NV centers. In Fig.(A3) a [111]-orientated NV center is shown and the four possible NV orientations are labeled. The static magnetic field (To split the red FDMR signal) splits the  $m_s = \pm 1$  sublevels by twice the Zeeman energy.

The effective magnetic field is here different for each NV center orientation and two dipole transitions per NV center orientation result in a total of eight resonances in the fluorescence signal.



Berkley-UJ Fotonik departmanlarının ortak çalışması sonucu çıkarttıkları makaledeki Darbeli(Pulsed) çukur-yakma modelini Mathematica'da adım adım analizini gerçekleştirdim.

Bazı Mathematica kodları:

```
Integrate[Pofr[f,gi,gp,frx,eta1,eta2],{f,-Infinity,Infinity},
Assumptions->Element[{gi,gp,frx,f,eta1,eta2},Reals]&&
Element[{gi,gp,frx,f,eta1,eta2},Integers]]
```

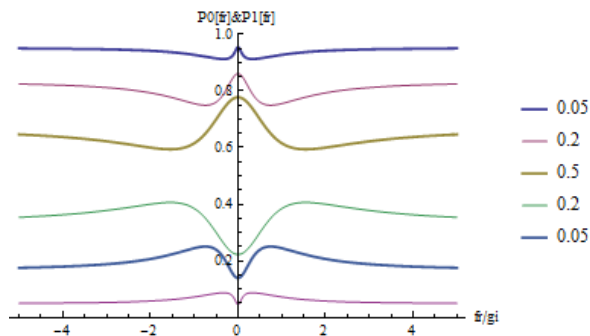
f you delete "," at the end of this (... /. a -> frx/gi;) command, you can see the (a = frx/gi) changing.

```
Pofri[a_, gi_, gp_] := 
$$\frac{a^4 gi + \frac{4 gp^2 (gi+gp) (gi^2+gi gp+gp^2)}{gi^4} + \frac{a^2 (gi^3+gi^2 gp+3 gi gp^2+gp^3)}{gi^2}}{(gi+gp) \left(a^2 + \frac{4 gp^2}{gi^2}\right) \left(a^2 + \frac{(gi+gp)^2}{gi^2}\right)}$$
; Pofri[a, gi, gp] /. a -> frx/gi;

Manipulate[Plot[Pofri[a, gi, gp], {a, -5, 5}, PlotRange -> {0, 1}, AxesLabel -> {"fr/gi", P0[fr]}, {{gp, 5}, 0, 100}, {{gi, 100}, 0, 100}]

P1fri[a_, gi_, gp_] := 
$$\frac{gp (a^4+4 gi gp^2 (gi+gp)/gi^4+2 a^2 (gi^2+2 gi gp+2 gp^2)/gi^2)}{(gi+gp) (a^2+4 gp^2/gi^2) (a^2+(gi+gp)^2/gi^2)}$$
; P1fri[a, gi, gp] /. a -> frx/gi;

Manipulate[Plot[P1fri[a, gi, gp], {a, -5, 5}, PlotRange -> {0, 1}, AxesLabel -> {"fr/gi", P1[fr]}, {{gp, 5}, 0, 100}, {{gi, 100}, 0, 100}]
```



I analyzed hole-burning mathematical model from last article.

Consider a MW transition ( $m_s = 0$  to  $+1$ ,  $m_I = 0$ ) in a pulsed hole-burning experiment. We assume that the sources of inhomogeneous broadening are static.

The inhomogeneous line shape is a Lorentzian with HWHM  $\pi_i$ , and for simplicity we consider the  $\pi$ -pulse frequency spectrum to also be a Lorentzian with HWHM  $\gamma\pi$ . [1]

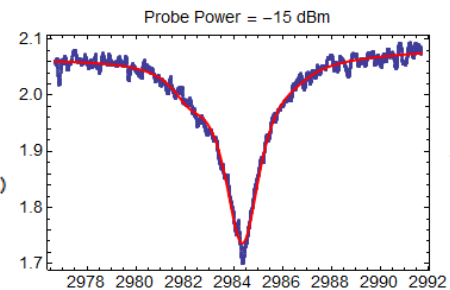
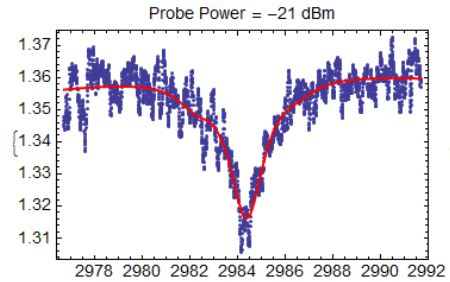
[1]Microwave saturation spectroscopy of nitrogen-vacancy ensembles in diamond  
PHYSICAL REVIEW B 89, 245202 (2014)

Yapılan İş / Performed Work : Frequency Scale Programme

Tarih / Date : 17.06.2014

Bu gün ise önceden Labview programında yazılmış bir programla osiloskopta elde edilen grafiğinin frekansını (x-ekseni) yeniden ölçeklendiriyorlardı. Yeni alınan Stanford Research System marka Lock-in yükselteç ve sinyal üreticinin (frekans tarama özellikli) kullanılması sonucu labview programına gerek kalmadı. Artık sinyallerin ortalamasını daha hızlı bir şekilde alınmaya başlanmıştı. Agilent osiloskoptan direk olarak grafiği usb ye almaya başladık. Fakat gelen xy-ascii verilerinin x eksenini çukur gözlemlediğimiz rezonans frekansına ölçeklendirilmiş bir şekilde değildi. Ben de dosya isimleri aşağıdaki formatta yazılmış verileri otomatik olarak ölçeklendirip grafiğe aktaran program yazdım.

```
gauss = 1 * getGauss / @files
dim = step = Table[0, {Length[files] }];
For[i = 1, i < Length[files] + 1, i++,
  nscaled[[i]] = Drop[nscaled[[i]], -1];
  nscaled[[i]] = Drop[nscaled[[i]], 2];
  dim[[i]] = Length[nscaled[[i]]];
  step[[i]] = 2 * sweepfreq[[i]] / (dim [[i]]);
  For[n = 1, n < dim [[i]] + 1, n++,
    nscaled[[i, n, 1]] = 0;
    nscaled[[i, n, 1]] = (Centrefreq[[i]] - sweepfreq[[i]])
      + (n - 1) * step[[i]] + nscaled[[i, n, 1]];
  ];
nscaled >> scaled;
```

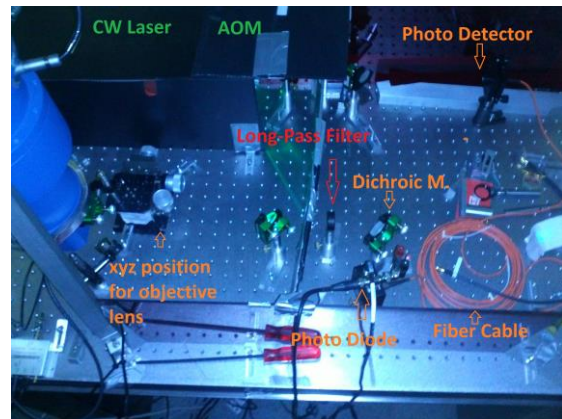
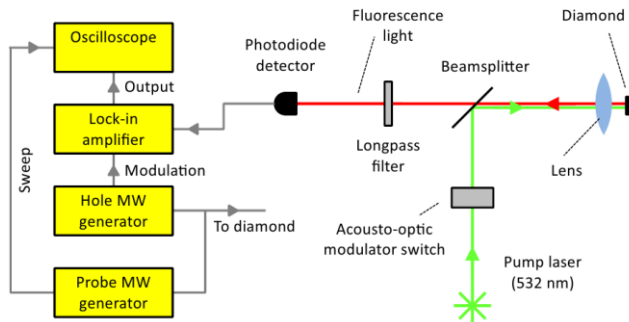


Here is some code for rescaling x-axis for centre frequency of measurement.

Staj Amiri / Supervisor

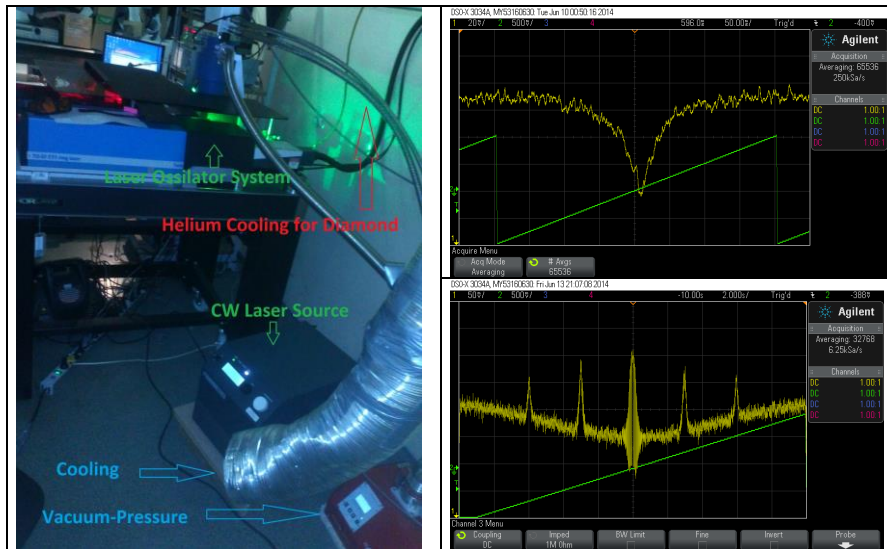
Bu bölümde nihayet teorik çalışmaları pratiğe dökme zamanı geldi. Öncelikle Sürekli dalga(CW) Yeşil Lazer kaynağından gelen ışınlar AOM(Akustik Optik Modülatör)’den geçerek doğruca mikroşerit devrenin üstünde bulunan mikrometre boyutunda elmas örneğine odaklama görevindeki lens üzerinden gönderilir.Objectif Lensin odak uzunluğu önemlidir.Önceki deneyimizde vakum tübünün dışındayken elmasımız daha kısa odak uzunluğuna(f) sahip nikon marka lens kullanıyorduk.İşin işine Tübün cam pencere kesitine uygun odak uzunluğu daha fazla olan başka bir lens kullanmak zorunda kaldık.

Elmasın üstünde bulunduğu mikro-şerit devreye Pump(Hole) ve Probe 2.9842Ghz frekanslı 2 sinyal power-combinerden geçerek uygulanır.(ms = 0 dan ms = +1 e yükseltmek için)



Elmas örneğimizden geriye yeşil ve Kırmızı(NV floresans) olarak 2 farklı dalga boylarında ışın demetleri gelmektedir.Bu demetler Uzun dalga boyu geçiren(LP veya Kırmızı filtre) optik filtreden sonra 45 derece açıyla konumlanmış Dikroik aynadan sonra fotodetektöre ulaşır.Fotodetektörden fiber optik kablo aracılığı ile fotodiyota ordan ilk elektrik aygıtımız olan Lock-in yükseltece varır. 0.01Hz gibi hassas bant genişliğinde yükseltme ve referans(1000kHz) sinyaline göre faz-hassasiyetli belirleme(PSD) özelliğiyle gürültülü sinyalimizi yükseltir.Genliği değişmiş sinyal ossiloskoptan NI kartı ile Labview programında bilgisayar ortamına aktarılır.Görünen sinyal grafiğini yeni Agilent ölçüm cihazından direk olarak xy(ascii) veya png formatında usb belleğe kayıt edebiliyoruz.

- 1-Yeşil Lazer kaynağı(532 nm - 3.46 W)
- 2-Lock-in yükselteç için referans sinyali (1000 kHz %50 duty cycle)
- 3-Lock-in yükselteç(Zaman sabiti 3ms – hassasiyet 5mV fakat pump sinyalinin gücüne (dBm) bağlı olarak çukuru görüntülemek değiştirilebilir.)
- 4- Pump(hole-çukur) Utulity kısmından 10MHz referanslı external genlik modülasyonlu(AM) Bir sinyal çıkar.Sinyal üretende radyo frekansı açık olması gerekir.(RF on)
- 5-Probe(MW) un kaynağı olan sinyal jenaratörü ise Modrate=1Hz , merkezin sağını ve solunu tarama frekansı (Deviation=7.5 MHz) için yeterlidir.



Not: Bir önceki şemada Pump(Hole) ve Probe için ölçüm yapılan sinyalin frekansı aynı olmalıdır(GHz). Probe sinyalinin gücü(dBm) pump(çukur) sinyalinin gücünden az olduğunda daha derin çukurlar gözlemliyoruz.

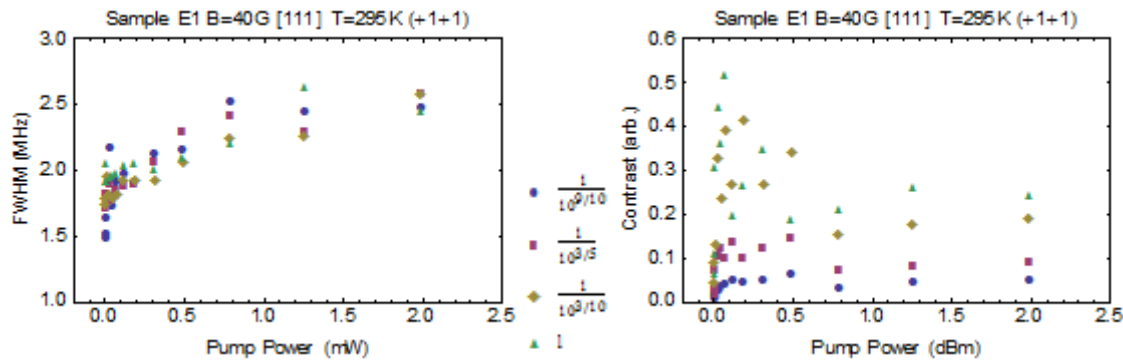
6-Akustik optik modülatör (AOM) Bilgiyara bağlı Spin-core Pulse Blaster Interpreter Programı ile modülasyon yapmamaya ayarlanmış bir durumdadır.Gelecek deneylerde pulse vererek NV gözlemleyecekler.

Sağ-üstteki grafik 2.9842Ghz merkez frekansının 7.5 MHz ile sağ ve solu taranırken merkez frekansındaki (ms = 0 dan ms = +1 enerji alışı ) kırmızı floresans ışığının şiddetindeki azalmayı göstermektedir.Sağ-alttaki grafik ise merkez frekansının çukurunun en dip noktasının sağ ve solu düşük frekans(yaklaşık 500kHz) sağ ve solu taranınca elde ettiğimiz grafiği göstermektedir.ilk gördüğümüzde yeni alt seviyeler mi keşfettik derken lock inin referans sinyalinin yan bantları olduğunu tespit ettik.

**Yapılan İş / Performed Work :** FWHM – Pump (mW) Graphs **Tarih / Date :** 23.06.2014

3 gün boyunca sürecek olan deneyde Tam geniş yarı maximum – Pompa güç(mW) Grafiklerini elde etmek için mathematica programına eklemeler yaptım. Bir Pompa gücünü azalttıkça gelen sinyalin genliği düşüyor daha gürültülü sinyaller görmeye başlıyoruz osiloskopta. Osiloskobun sinyalleri ortalama alması da 45-60 dk arası sürüyor. Bu yüzden bir güç değişimine göre çukur derinliği grafiği elde etmek belli bir probe gücünde 8 saat sürüyor. Aşağıdaki grafik yaklaşık her 45 dk bir veri alıp yeni pompa(pump-polarizasyon için) gücü değeri girilmesinin sonucunda elde ediliyor.

Bu deneyde pump gücünü +3dBm den -21dBm e doğru 2dBm lik azaltma ile Probe gücü 0dBm sabit şartında elde edilmiştir.



Adding mathematica codes to get Full width half maximum (FWHM) –Pump Power(mW) graphs during 3 days.

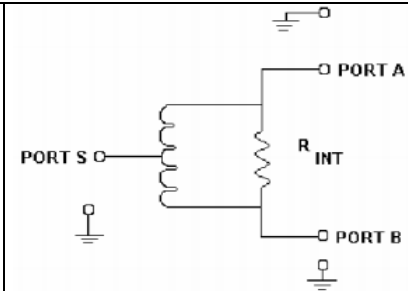
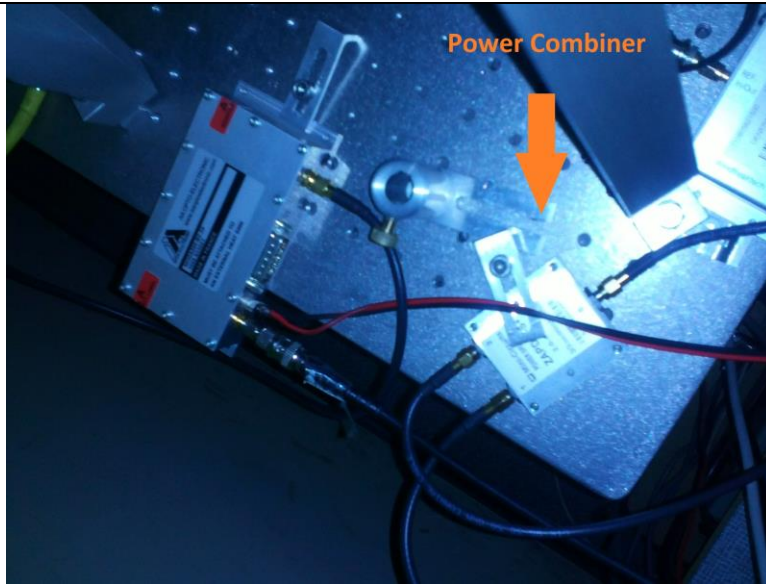
**Staj Amiri / Supervisor**

**Yapılan İş / Performed Work :** RF Power Splitter/Combiner **Tarih / Date :** 24.06.2014

Aynı mikro-şerit devreye Pump ve Probe gücünü Microcircuit marka güç birleştiricisinden geçirerek uyguluyoruz.

Basit olarak  $0^\circ$  (faz derecesi) ayırıştırıcılar gelen sinyali kabul ederek faz ve frekansı değiştirmeden çoklu çıkışa aktaran pasif elemanlardır. Bu sıralamaya tersten baktığımızda birleştirici olarak düşünebiliriz.

Bir ayırıcı 25-30 dB izalasyon sağlamalıdır. 6 dB le kadar olan kayıplar normal karşılanırken 6 dB den fazla kaybı olan ayırıştırıcılarda açık devre olduğu veya problemli olduğunu düşünebiliriz.



We are applying Pump and Probe Power with microcircuit RF Power Splitter/Combiner.

Basically, a  $0^\circ$  splitter is a passive device which accepts an input signal and delivers multiple output signals with specific phase and amplitude characteristics. In a two-way splitter/combiner, equal and opposite currents flow through the internal resistor and transformer, cancel each other, and provide high isolation between ports A and B.

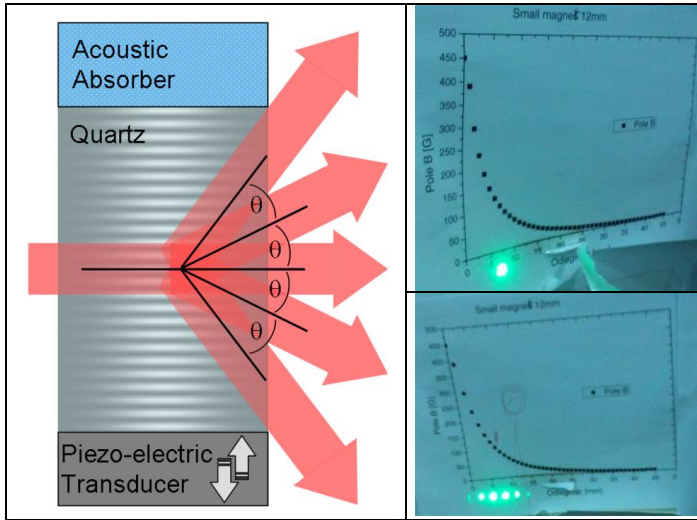
A 2-way power splitter should offer 25 to 30 dB isolation in its mid-band range. Measure the isolation with the sum port properly terminated; 25 to 30 dB should be read. Now remove the termination. If isolation drops to 6 dB, the power splitter is OK; if isolation is still high, there is an open circuit in the power splitter.

**Staj Amiri / Supervisor**



Akustik Optik Modülatör (AOM), Bragg hücresi olarak da bilinen , ses dalgalarıyla(genellikle RF) frekans kaydırmak için kullanılır. Lazerlerde Q-switch, sinyal modülasyonu, spektroskopide frekans kontrolü için kullanılır. Piezo elektrik transducer(güç çevirici) cam gibi bir metaryele tutturulmuştur. Osilasyon yapan elektrik sinyali bu transducer ı titreştirerek camda ses dalgaları oluşturur. Bu olay periodik tabakaların genişleyerek ve sıkışarak camın kırılma indeksinde değişiklik meydana getirir. Periodik indeks modülasyonu ve girişimi Bragg kırılımına benzerdir. Bu etkileşim fononlar ve fotonlar arasında karışan 4 dalga girişimi olarak düşünülebilir. Biz ise “Pulsed Çukur yakma “ deneyi için kullanacağız . Şu ana kadar AOM kullanmadan(Lazer demetlerini açıp kapatmadan) ölçümleri gerçekleştireyoruz

AOM'ler eğilebilir aynalara göre daha hızlıdır, lazer demetinin geçiş süreleri (5-100ns) dolaylarındadır. Bu aktif mod-kilitli ultra-hızlı lazerler için yeterli bir süredir. Daha hızlı kontroller için Elektro-optik modülatörler kullanılır. Ne yazık ki, AOM'lar 3W'dan az güçle çalışırken EOM'ler yüksek voltaja ihtiyaç duyarlar(1-10kV)



Also called a **Bragg cell**, uses the acousto-optic effect to diffract and shift the frequency of light using sound waves (RF). Piezoelectric transducer is attached to a material such as glass. An oscillating electric signal drives the transducer to vibrate, which creates sound waves in the glass. These can be thought of as moving periodic planes of expansion and compression that change the index of refraction. Incoming light scatters off the resulting periodic index modulation

and interference occurs similar to Bragg diffraction. The interaction can be thought of as four-wave mixing between phonons and photons.

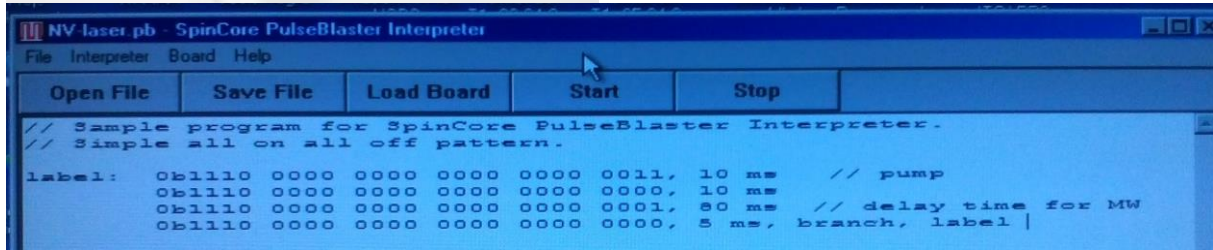
Acousto-optic modulators are much faster than typical mechanical devices such as tiltable mirrors. The time it takes an AOM to shift the exiting beam in is roughly limited to the transit time of the sound wave across the beam (5 to 100 ns). This is fast enough to create active modelocking in an ultrafast laser. When faster control is necessary electro-optic modulators are used. However, these require high voltages (1-10 kV), whereas AOMs offer less than 3W.



SpinCore Pulse Blaster PCI kartını AOM'e pulse sinyali vermek için kullanıyoruz. SpinCore'un ürettiği arayüz yazılımında denemelerde bulundum. Bir önceki sayfadaki Akustik optik modülatörden çıkan yeşil lazer demetlerini görebilirsiniz. AOM'i açıldığında 4 dalga girişimini ve kapalı konumda ikenki direk gelen lazeri çıkışına aktardığını gözlemledim.

Kartın bazı önemli özellikleri:

- 10 ns pulse resolution (at 100 MHz)
- Up to 25 mA output current per channel



We are using SpinCore Pulse Blaster PCI card on Computer to give pulse into AOM. If the bit is "1" it means "on" or vice versa.

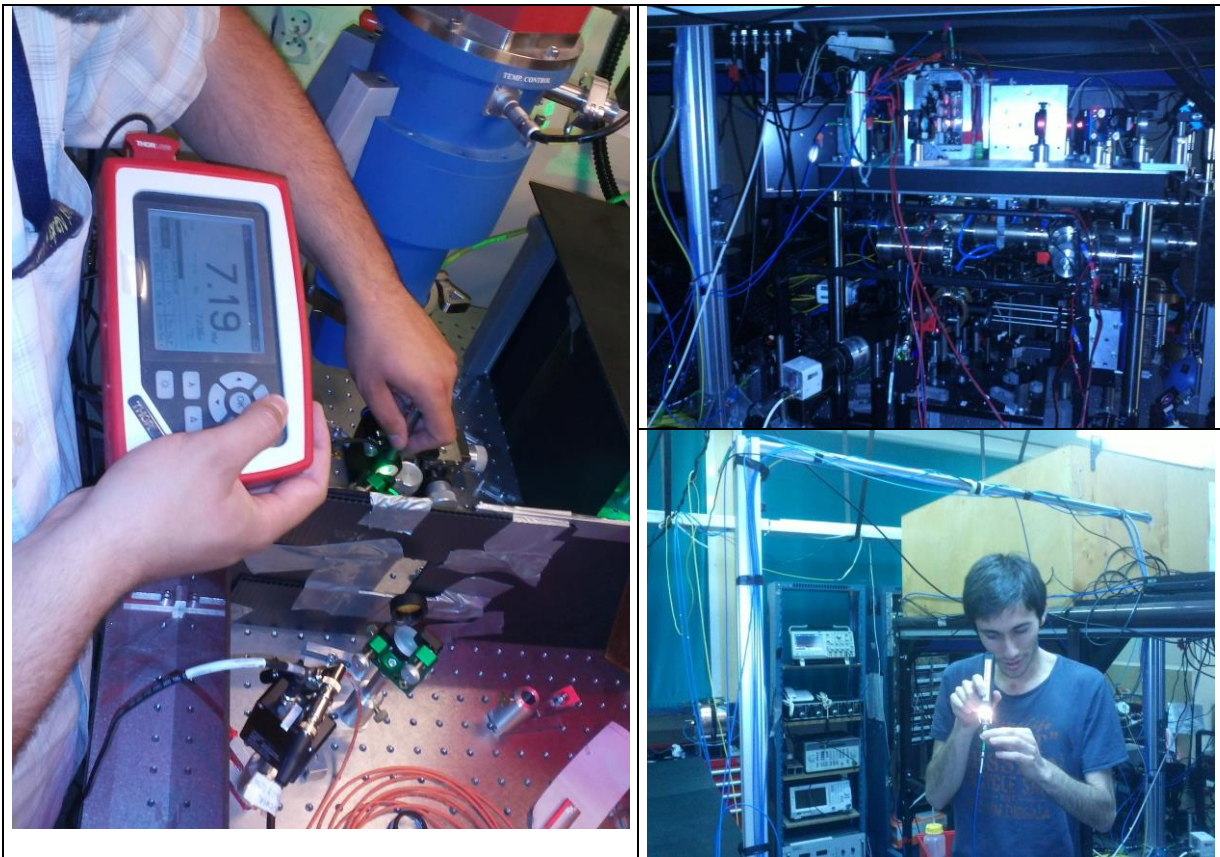
Card some important specifications:

- 10 ns pulse resolution (at 100 MHz)
- Up to 25 mA output current per channel

Staj Amiri / Supervisor

Bu gün Soğuk Atom laboratuvarına ziyarette bulundum. Fiber kablo mikroskobu(sağ-alt), gauss metre, Lazer güç ölçüm cihazı gibi aygıtları inceleme fırsatım oldu.

Soğuk atom laboratuvarında Lazerlerle Rubidyum(Rb) örneğini(mikrometre) titreşimini Lazer soğutma ve kapan yöntemi ile sıcaklığını 600 nK e düşürürken çok daha büyük optik devreye ihtiyaç duyuyorlar.



Today I visited the Cold Atoms Lab.

They need more big optic circuit while they are decreasing Rubidium(Rb) temperature to 600 nK with using Laser Cooling and Trapping methods.

I had chance to use Gauss meter, Laser power meter and Fiber cable microscope which is at the right-bottom picture.

Stajın son gününde staj defterimin çıktısını aldım.Son 1 aya baktığımda Elmaslardaki nitrojen boşlukları üzerine çok şey öğrendiğimi söyleyebilirim.Optik devrede, Mathematica ve ölçüm sistemlerinde deneyim kazandım.

Soldan sağa doğru(İsmail KALAY, Mariusz MROZEK ve Daniel RUDNICKI)



Left to Right(İsmail KALAY, Mariusz MROZEK and Daniel RUDNICKI)

Last day of internship, I printed the internship notebook.When I looked the last 1 month I learned a lot of things about NV center in Diamond.I had experience on optical circuit, Mathematica and Measurement Systems.

**Staj Amiri / Supervisor**

