

Havalı Bir Lazer Yapalım

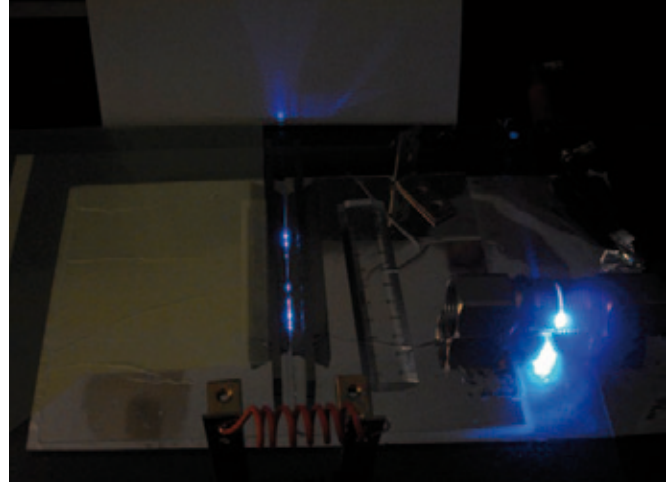
“Atmosferik Basınçta Enine Uyarmalı Azot Lazeri Yapımı”

Elimdeki sararmış bir *Scientific American* makalesine bakıyorum. Ekim 1977 tarihini yazmışım üzerine. Haziran 1974 dergisinden bir tıpkibasım. O makale ve diğerlerini satın alabilmek için merkez bankasına dilekçeler verişimi, haftalarca uğraşıp aldığım çeki, para transferleri ve izinleri anımsıyorum. Günümüzde bilgiye ulaşmanın hızını ve kolaylaşmasını düşününce mutlu oluyorum. Hayatın birçok zorluğu ve karmaşası sürse de, bilgiye erişimin özgürleştiği, paylaşımın değerlendirildiği, arttığı bir dünya umut veriyor. Bu makaleyi özenle, okunmamış gibi saklamışım. Aylarca döne dolaşa her sözcüğünü anlamaya çalışarak okumuştum oysa. Yatay çift kapasitör arasında oluşturulan yüksek hızda akımla elde edilen, morötesi lazer demeti nasıl bir şeydi? *Scientific American*'da yıllarca amatör bilimci köşesinde akıl alan deneyler anlatan, yapımını gösteren C. L. Stong, bu lazerin 6V pille çalıştığını, 50-100kW güç verdiğini ve bir süpürge sopası boyutlarında morötesi ışın demeti oluşturduğunu anlatıyordu (Bu makale, internet üzerinde arama motorlarıyla rahatça bulunabiliyor. Okumanızı, şekillerin ve anlatımın güzelliğini görmenizi şiddetle öneririm). Yazıda, J. G. Small'un MIT'de lisansüstü öğrencisiyken geliştirdiği, sıradan laboratuvar malzemeleriyle kurduğu bir gaz lazerinin nasıl yapıldığı ayrıntılarıyla açıklanıyor. Musluğa bağlanan bir aspiratörle vakum sağlanan deşarj (boşalma) odasına, kolay bulunan azot gazı veriliyor. Elektrotlar, bir baskılı devre kartıyla oluşturulan ikili kapasitör yüzeyine tutturulmuş. 6V pil, basit bir gerilim dönüştürücü ile 20kV güç sağlıyor. Bir kenara iştirilmiş kıvılcım aralığı da yüksek hızlı tetikleme yaparak, elektrotlar arasındaki gazın plazmaya dönüşmesini, ışık yaymasını ve dik yönde de lazer ışını olarak çıkışını sağlıyor.



Yüksek Güçte Morötesi Lazer Işını ve Yüksek Gerilim Tehlikesi

Sorumluluk Açıklaması:
Bu yazıda anlatılan, yapımı örneklenen, kaynakçası verilen lazerin yapımı birçok ayrıntılı teknik beceri ve bilgi gerektirir. Yapımına girişildiğinde, elektrik/elektronik ve fizik konularında eğitim almış, bu konularda çalışan birinin yardımını veya gözetimini istemeniz önerilir. Böyle bir sistemin kurulması, çalıştırılması veya denenmesi sırasında meydana gelebilecek istenmeyen durumların hiçbirinden yazar, dergi veya kurum sorumlu değildir.



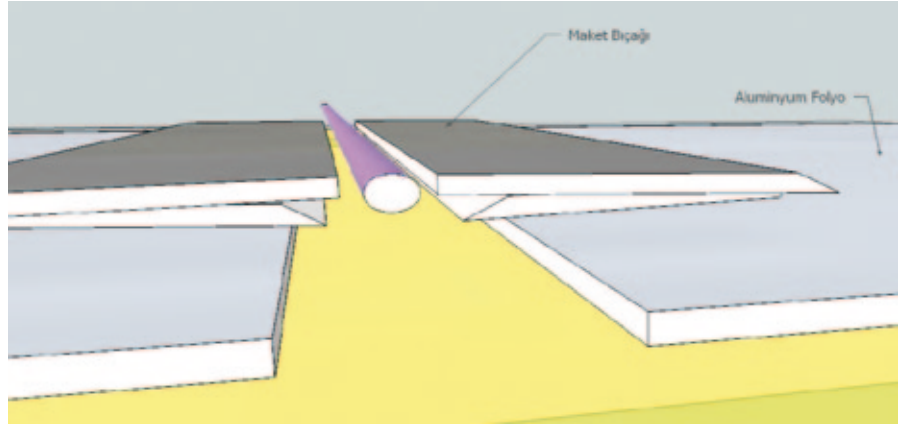
Scientific American'da yayımlanmış birçok lazer yapımı makalesi vardı. Ama bu beni özellikle çekiyordu. Yalnızca beni değil, bunca yıl sonra geriye bakınca binlerce amatör bilimcinin, öğrencinin, araştırmacının bu lazer tasarımından ilham aldığını, aynısını ya da benzerini yaptığını görüyorum.

Neden mi? Bu lazer, genellikle lazer yapımında kullanılan pahalı ve zor bulunan kristaller, özel kaplamalı, pahalı aynalar, garip gazlar, zehirli boyalar, yapımı zor çakarlamba (xenon flaş lambaları) ve sürücüler, optomekanik hassas düzenekler, cam işleme, vakum sistemi gerektirmiyor da ondan. Optik ayarlama deneyimi, özel laboratuvar koşulları ve deneysel becerileri zorlamıyor. Small'un tasarımı “kolaylıkla bulunabilecek” araçlar ve merak, biraz da deney becerisi istiyordu. Yine de, bu tür çalışmalarını değerlendirdiğimde şunu düşündüm: Öyle bir lazer tasarlamalı ki, en sıradan malzemelerle kurulabilmeli. Böyle bir lazerin yapımı bu yazıya konu oldu: Komşu nalburdan satın alınan parçalarla kurulan ve etkin ortamı at-

"Lazer" adlı makaleleri bu tür lazerler konusundaki çalışmalarını anlatır. Kısaca özetleyecek olursak, plazma kanalındaki ışınma olasılığı kanal boyunca yüksek olacak ve kanalın her iki ucundan azot molekülünün 337,1 nm lazer ışınması çıkacaktır. Atmosfer basıncında 1ns kadar sürecek bu ışınma, neredeyse 30 cm uzunluğunda bir lazer demetidir. Eğer bir rezonatör/çınlanım kovuğu konulsa bile, çıkış enerjisine fazla katkısı olmaz. Kovuğun arkasına yerleştirilecek tam yansıtıcı bir ayna, çıkış gücünü 2-3 katına çıkarabilir ve ışın dağılımını azaltıp kalitesini yükseltebilir. Lazer çıkışını bir yöne doğru artırmak, akım yönlendirmesiyle de yapılabilir. Bunun için, elektrotları paralel yerleştirmek yerine, çıkışa doğru açılan bir kanal yapmak (örneğin arkada 1 mm elektrot açıklığı, çıkışta da 2 mm elektrot açıklığı) tüm ışını çıkışa yönlendirecektir.

Nasıl yapacağız? Bu yazının amacı, bir azot lazerini en sıradan malzemeyi kullanarak kurmaktır. O halde malzeme listesini oluşturalım:

1. Mutfakta kullanılan alüminyum folyo
2. Fotokopilerde kullanılan lazer yazıcı için asetat (bu iyi kaliteli, A4 büyüklüğünde bir tepегöz yansıması olmalı)
3. Cam, ahşap, plastik gibi yalıtkan malzemelerden bir taban (A3 büyüklüğüne yakın)



Hava lazeri elektrotlarının yerleştirme çizimi. Mor çubuk, lazer ışını temsil ediyor.

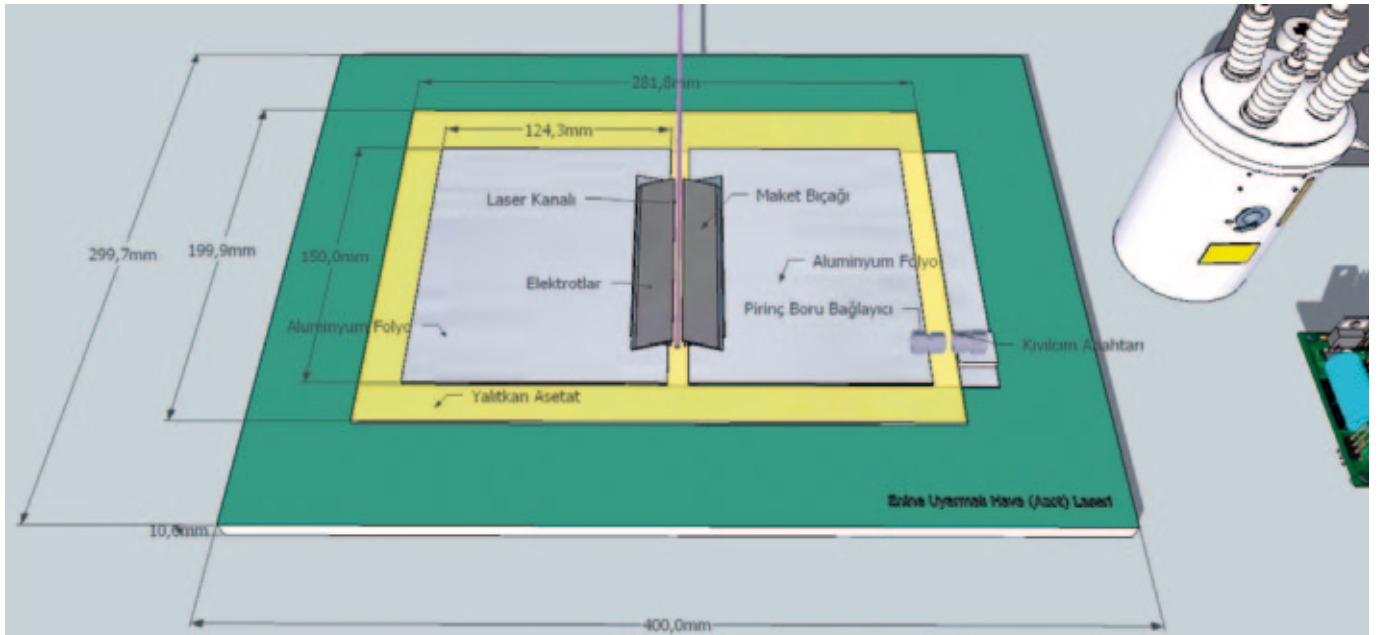
4. 1-10 kΩ değerinde, 1-2 W gücünde direnç ya da 1mm kadar çapta bakır tel den yapılmış, 1-2 cm çapında ve 4-5 tur sarılmış endüktör
5. Makas, bıçak, tornavida, pense, bant, tel, çeşitli bağlantı malzemeleri
6. İki tane pirinç boru parçası, nipel
7. 4 tane geniş maket bıçağı
8. 10-20 bin Volt çıkış veren güç kaynağı. Evet, projenin gizli kısmı buydu. Bulması en zor olanı, beceri ve dikkat isteyen, tehlikeli olanı. Aslında deneysel becerileri geliştikçe, insan çevresinde hangi aygıtın neler içerdiğini, neyin nasıl güvenle kullanılabileceğini öğrenir. Örneğin bu yüksek gerilim kaynağı hurda bir te-

levizyondan, eski bir bilgisayar monitöründen, bir lazer yazıcısından, mutfaktaki ocak ateşleyicisinden, elektrikli saç fırçasından, atılabilir/tek kullanımlık bir fotoğraf makinası flaşından, otomobil ateşleme düzeneğinden çıkarılıp uyarlanabilir.

Ben deneyler sırasında elimdeki bir neon güç kaynağını kullandım. Deneysiz olanlara kesinlikle önermem. Eğer yüksek gerilim kaynağını kullanmaya yatkın değilseniz, önce pille çalışsan, elektrik hattına bağlanmayan araçlar kullanmanız daha doğrudur.

İşte burada yazıya ara verdim. İstanbul Atatürk Oto Sanayi Sitesi'nde dolaşım ve zorlanarak da olsa ucuz bir ateş-

Hava Lazerinin yerleştirme çizimi. Ölçüler, yaklaşık değerlerle verilmiştir.



leme trafosu buldum. Zorluk nedeni aslında aradığım şeyin adıydı. Neyse ki endüksiyon bobini, bobin, ateşleme bobini, ateşleme trafosu, platin trafosu diye sora sora bulunuyor. Bu trafoyu eski bir kesintisiz güç kaynağından (UPS) çıkardığım 12V akü ile çalıştırmaya karar verdim. Yazı başka türlü isteklerimi/ hedeflerimi karşılamayacaktı. Yani güç kaynağı için hem ucuz, hem de güvenli bir öneride bulunmalıydım ki “sıradan malzemeyle ucuz bir güçlü lazer” yapılabilirdi.

Şöyle bir devre yaptım: Her yerde bulunabilecek, her elektronikçinin kullandığı, bildiği LM555 zamanlayıcı tümleşik devreyi kullanarak darbe genişliği kipleycisi kurdum. Ateşleme trafosunun birincil sargısının direncini ve endüktansını hesaba katarak (yaklaşık 4Ω ve 8mH) en büyük darbe genişliğini 8mS ve güç kaynağını 12V aldım. Böylece 125 Hz salınım frekansında darbe genişliği 0-8 ms (yük döngüsü %1-%100) arasında ayarlanabilen bir sürücü tamamlandı. Bu sürücü çıkışına eklediğim bir mosfet güç transistörü ve koruma öğeleriyle de ateşleme trafosuna denetimli akım vererek ikincil sargı çıkışından 0-20 bin volt gerilim elde edebildim. Trafo çıkışına televizyon tüplerini beslemekte kullanılan, 12kV engelleme gerilimi değerinde üç diyotu seri olarak bağladım. Bunun da güvenli çalışması için seri olarak 1 ile 10 Megaohm dirençle akım sınırlaması yapmak ve her diyota paralel olarak 1MΩ değerinde gerilim bölücü/dengeleyici direnç bağlamak uygun olacaktır. Güç kaynağı için başdöndürücü çeşitlilik vardır. Kullandığım devre tasarımı, geri uçuşlu (*flyback*) topolojide anahtarlamalı bir güç kaynağı. En verimli ve en güçlü kaynak değil. Ama yapımı, çalıştırması ve onarımı kolay bir devre. Bu devre basit yapısıyla, uzay montajı yapmaya uygundur. Ben de öyle yaptım. Baskılı devre, delikli plaket, deneme tahtası gibi yöntemler gereksizdir. Bir havaya ve dikkatli, özenli lehimlemeyle devreyi kurabilirsiniz.

Artık lazer malzememiz hazır ve kurmaya başlayabiliriz. Durun! Sonraki aşamaya geçmeden güvenlikten söz etmek

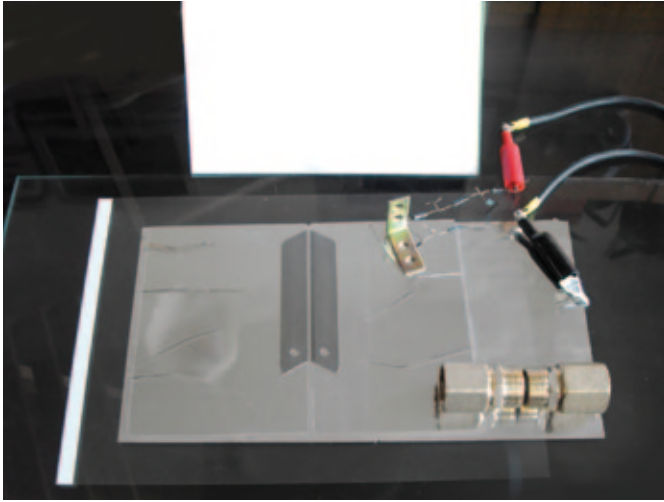


Hava Lazeri yapımında kullanılan malzemeler. Sağ tarafta, ilk çalıştırmada kullanılan ayarlanabilir yüksek gerilim kaynağıdır.

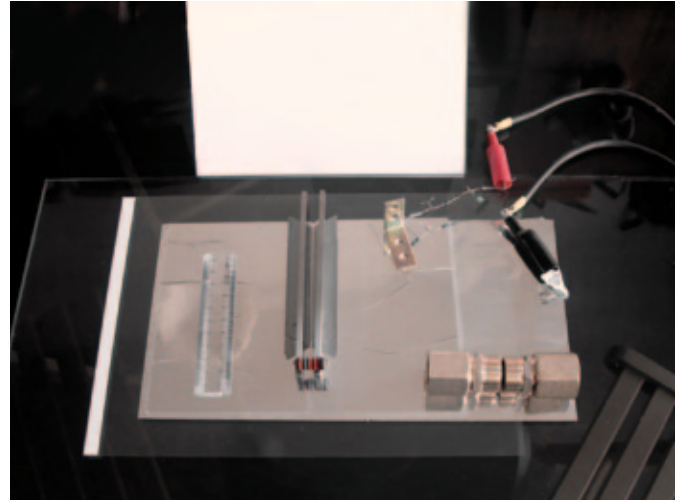
istiyorum. Yıllar önce H. J. Zeiger, lazerlerle ilgilenmemi desteklemek için üç kitap armağan etmişti: Lasers & Light (hala dönüp de okuduğum, temel bilgiler içeren bir *Scientific American* derlemesi), Laser Buyer's Guide (alışveriş kılavuzu, adresler, optik ve elektronik üretici adresleri ve fiyat, özellik bilgileri derlemesi), Laser Safety Booklet (lazerlerle güvenli çalışmanın kuralları, yönetmelikler ve laboratuvar denetimi kitapçığı). Bunun nasıl güçlü bir üçlü reçete olduğunu her çalışmamda gördüm. Çalışma ortamının ve deneysel düzeneğin zararsız olmasını sağlamak, can ve mal güvenliğini, çevre güvenliğini gözetmek bilimcinin ilk görevi ve sorumluluğudur. Bu yazıdaki düzenek, kullanılan malzeme, kurulan ve çalıştırılan sistemin öğeleri son derece sıradan olsa da tehlikeli ve zararlı olabilir. Örneğin maket bıçakları son derece keskindir. Dikkat ve özenle kullanılmalı ve sert bir kutu içinde çöpe atılmalıdır. Gerektiğinde güç kaynağı 20 bin volt çıkış verebilir. Bu da insanı 5-10 cm uzaklıktan bile çarpabilir. Lazer kapasitörleri yüksek gerilimi depolayarak daha da çarpıcı bir tehlike kaynağı oluşturur. Kıvılcım anahtarı, plazma kovuğu ve lazer çıkışı çok yüksek şiddette mor ötesi (UV) ışık kaynağıdır. Bu dalgaboyundaki ışık katarakt ve deri kanseri oluşturmaya neden olur. Oluşan elektrik arkı, nanosaniyelerde milijüller ölçeğinde enerji boşalmaları yapar ve akustik şok dalgaları / çok yüksek şiddette ses çıkarırlar. En azından şunlar yapılmalıdır:

1. Bu tür çalışmalar yalnız başına yapılmalıdır,
2. Ortamda ilgisiz ve bilgisiz kişiler bulunmamalıdır,
3. Çocuklar ve yaşlılar uzak tutulmalıdır,
4. Sol el, çalışırken cepte ya da belde tutulmalıdır (böylece elektrik çarpması olasılığında, kalpten akım geçiş olasılığı düşer),
5. Ortam sürekli havalandırılmalıdır. Yüksek gerilim boşalmalarında zararlı ozon gazı oluşur, laboratuvar ortamında çeşitli kimyasal buharlar bulunur,
6. Eller çalışma sonrasında yıkanmalı, her fırsatta temizlenmeli ve deney ortamında bir şey yenilmemeli ve içilmemelidir,
7. Deney düzeneği temiz ve düzenli tutulmalıdır,
8. Koruyucu gözlük (bir nalbur ya da kimya dükkânından en azından polikarbonat koruma gözlükleri alınabilir) kullanılmalıdır,
9. Lastik bulaşık eldivenleri hem rahat kullanılır hem de kirden ve elektrikten yalıtım sağlayabilir,
10. Eczaneden kulak tıkacı alınır ve ses koruması sağlanır, ameliyat maskesi alınır tozdan koruma sağlanır.

Önlemlerimizi aldıktan sonra düzeneğimizi kurmaya başlayabiliriz. Önce A3 boyutlarına yakın yalıtkan taban malzemesini masaya yerleştirin. Bunun üzerine, A4 boyutlarında 2 cm kenar boşluğu bırakacak büyüklükte alüminyum folyo kesip düzgünce yayın. Bunun üstüne teppegöz asetatını koyun. Simetrik bir yerleşim sağlayacak şekilde, 18 cmx13 cm bo-



Hava lazerinin kapasitörleri ve ilk elektrotları yerleştirilmiş hali.



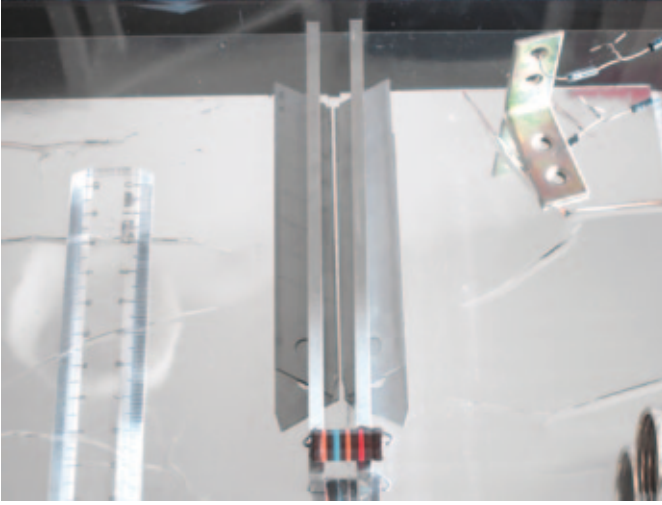
Hava lazerinin kurulduktan sonra görünümü. Sağda kıvılcım anahtarı, ortada plazma kanalı ve bıçak elektrotların üzerinde ağırlık olarak konulmuş çelik lamalar.

yutlarında iki alüminyum folyoyu, aralarında 6-7 mm bırakarak asetat üzerine koyun. Gerekirse, köşelerinden bantla tutturabilirsiniz de. Ortadaki kanal, plazma kanalı olacağı için düzgün kesim ve paralel folyo yerleşimine dikkat edin. Bu kanal üzerine, keskin kenarları kanala bakacak durumda iki maket bıçağını paralel ve aralarında 4 mm kalacak gibi koyun. Çaresiz kalmadıkça yapıştırmayın ve önce alkole güzelce temizleyin. Bu son iki öneri ayar yapmak gerekeceği ve iletkenliği yüksek tutmak için gereklidir. Bu bıçakların üzerine, keskin tarafı kanal dışına bakacak durumda ve aralarında neredeyse 1mm kalacak aralıkta birer bıçak daha koyun. Elbette bıçaklar dikkatlice temizlenmiş olmalı. Şekil ve fotoğraflarda dikkatinizi çekecektir; bu bıçaklardan enerji kaynak kapasitörü tarafında olana bantla A4 büyüklüğünde plastik bir dosya kapağı yapıştırdım. Bant, iletkenlik gerektiren yüzeylere ilişmiyor. Ama bu plastik parçası, kapasitörlerden 10-15 cm uzakta güvenli bir ayar levyesi olarak çalışıyor. Hem elektrodu ileri geri çok hassas oynatabilmek hem de açı verebilmek çok kolaylaşıyor. Hele yüksek gerilimden uzak bir bölgede bunu yapabilmek insanı rahatlatıyor. Bıçakların üzerine ağırlık yerleştirmek yüzeylerin birbirine daha iyi değmesine neden oluyor. Ben her bıçağın üzerine çelik lama yerleştirdim. İki

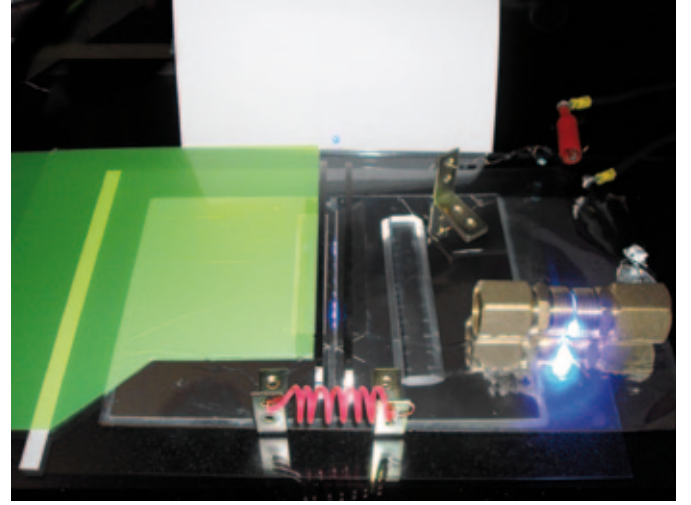
kapasitör plakasını eş gerilimle yükseltmek için 1-2 W gücünde 1-2 k Ω değerinde bir direnç kullanabilirsiniz ya da 5-6 sarımlık, kalınca bir bakır telden bobin sarıp endüktör yapabilirsiniz. Bu, doğru akıma fazla engel çıkarmadan kapasitörleri doldurmayı sağlar. Ama enerji kapasitörü plazma kanalına boşalırken binlerce amper akım nanosaniyelerde aktarılır. Bu hızlarda hem endüktör hem de direnç devreyi açık tutar. Yani üzerinden çok az akım geçebilir. Bir tür akım hızına bağlı anahtar gibi çalışırlar. Tersinme kapasitörü tarafına bir kıvılcım anahtarı yerleştirmeliyiz. Bunu da iki tane yarım parmak çapında, pirinçten yapılmış boru çevirici nipel kullanılarak yapabilirsiniz. İki pirinç parçayı, aralarında 3-4 mm (Havanın 1 atmosfer basınçta elektriksel yırtılma gerilimi 25 kV/10 mm'dir. O halde bu kıvılcım anahtarı yaklaşık 7,5-10 KV anahtarlama gerilimi oluşturacaktır) kalacak şekilde, alt kapasitör plakası ve üst kapasitör folyosu üstüne koyun. Yüksek gerilim kaynağının artı ucunu üst kapasitör folyosuna, eksi ucunu da alt folyoya iletirin. Artık ayar yapmaya ve lazeri çalıştırmaya hazırsınız. Güç kaynağı ayarınızı, saniyede 3-4 kez kıvılcım anahtarında ark olacak güce getirin. Sonra da hiçbir iletkene dokunmadan, ayar plakasıyla oynayarak, plazma kanalındaki arkların, kanal boyunca eş dağılmasını sağlayın. Kanal

aralığı paralel ve 1mm kadar olduğunda, kanal çıkışına bakacak şekilde yerleştirdiğiniz beyaz kâğıtta 2mmx4mm boyutlarında (elbette uzaklığa bağlı, kâğıdı 10 cm kadar uzaklıkta varsayıyorum) mor/mavi renkte ışıldayan eliptik bir nokta belirmelidir. İşte, azot lazeri çıkışını elde ettiğiniz an budur. Işık noktasını daha düzgün, daha parlak olacak gibi ayarladıktan sonra, neşeyle bir süre başarınızın keyfini çıkarın derim.

Sonrası: Azot lazerinin çıkışı 337,1 mm dalgaboyundadır ve gözle görülmez. Ama kâğıt ve tekstilde kullanılan ağartıcılar, morötesinde ışımaya yaparak parlak beyaz bir etki verir. Bu da azot lazerini görmemizi sağlar. Değişik malzemelerin, renkli floresan mürekkeplerin, floresan markalayıcıların etkisine bakabilirsiniz. Azot lazerinin bilimsel bir etkileyciliği var. Kısa zamanda verdiği yüksek güç, bir çok atomik ve moleküler görüngününün (olay/fenomen) incelenmesine olanak verir. Bulutlardan yansıtılarak yükseklikleri ölçmek, Raman saçılmasıyla malzemelerin moleküler özelliklerini incelemek, morötesi uyarı spektroskopisi yapmak, nano kürelerde optik deneyler/pompalama yapmak, kuantum noktalarını incelemek, plazma dinamiği görüntülemesi, hızlı sıvı akışı görüntülemesi, mikroark spektroskopisi, boya lazeri pompalaması için kullanabiliriz böyle bir lazeri.



Plazma kanalı, elektrotlar ve yüksek gerilim bağlantısının yakından görünüşü.



Hava lazeri çalışırken. Kıvılcım anahtarı ve plazma kanalı ışıltıyor. Karşıdaki beyaz kağıt üzerinde lazer ışını parıltması görünüyor. Soldaki sarı plastik parça, elektrot açısı ve aralığını güvenle ayarlamak için kullanılıyor.

Pekiye, elimizdeki bu düzenek için neler yapılabilir, nasıl iyileştirilebilir? Bu lazerin tasarımında özgür bir yöntem belirlemeye çalıştım. Anlatılan sınırlar içinde birçok değerdeki değişken için sistem çalışacaktır. Ancak en iyi değerlerde çıkış vermeyecektir. Neler yapılabilir?

1. Kapasitörlerin boyutları ölçülmeli ve değerleri hesaplanmalıdır.
2. Kapasitörlerin değerleri ölçülüp hesaplarla karşılaştırılmalıdır.
3. Gerilim ölçülmeli ve boşalma enerjisi hesaplanmalıdır.
4. Boşalma zamanı, elektromanyetik hesaplarla bulunmalı, hızlı fotodiyotlar ve osiloskopla lazer darbe genişliği ölçülmelidir.
5. Bu değerlerin değişimiyle lazer gücü değişimi ölçülmelidir.

6. Plazma kovuk aralığıyla, lazer gücü ilintisine bakmalıdır.
7. Plazma elektrotları arasında birçok kıvılcım görünür. Aslında bu kıvılcımlar enerji harcar ve lazer dönüşümüne katkıda bulunmaz. Daha temiz ve yuvarlatılmış, düzgün elektrot yüzeyleriyle kıvılcımsız, mor renkte plazma sütunu elde etmeye çalışmalıdır.
8. Havada bulunan oksijen, lazerin verimini düşürecektir. Azot gazı edinecek, kovuğa azot besleme yolları bulmak, bunun lazer çıkış gücüne etkisine bakmak ilginç olacaktır.
9. Lazer düzenliğini, ayar gerektirmeyecek şekilde kurmak, güvenli şekilde kutulamak ise başka bir önemli aşamadır.
10. Lazer boyutlarını değiştirerek güç artışı sağlamak önemli ve zorlu bir çalışmadır.
11. Yeterince güçlü çıkış veren tasarımla, lazerin çıkışı bir mercekle odaklanırsa, metal yüzeylerde ark yapılabilmektedir. Bu güçlerdeki bir lazeri silindirik mercekle odaklayarak boya lazeri yapabilir ve değişik dalgaboylarında lazer ışığı elde edebilirsiniz.
12. Plazma kanalının her iki ucundan da lazer çıkışı olacaktır. Eğer arka çıkışa yüzey kaplı bir ayna (bir tarayıcıdan ya da bir lazer yazıcıdan 10mmx50mm boyutlarında çok ka-

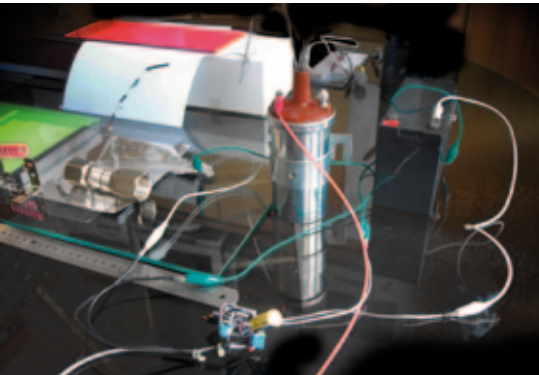
liteli ayna çıkarabilirsiniz ve kesmeden bu boyutlarda kullanabilirsiniz) yerleştirir ve lazer ışığını kanala geri yollarsanız çıkış enerjisi 2-3 kat artabilir. Hatta ışın kalitesi (açılma açısı, eş dağılımı) yükselebilir de. Bir de elektrotları paralel yapmak yerine küçük açılar vererek tüm ışınların kanalın bir tarafından çıkmasını da sağlayabilirsiniz.

13. Elektromanyetik alan deneyleri yapmak isterseniz, kıvılcım aralığı/ark anahtarı konumuyla oynayarak bunun lazer çıkışının ön ve arka pencerelelerdeki gücüne etkisini ölçebilir ve hesaplar yapabilirsiniz.

Galiba bu yazıyı yazmaya bir son vermeyeceğim! En iyisi değerli kaynakları sıralayıp, size eğlenceli çalışmalar dilemek...

Kaynaklar

- Lue, J. T., "Design Criteria of Subnanosecond UV N₂ Lasers Operating at Atmospheric Pressure", IEEE Trans. Inst. Meas., Cilt 1M-34, Sayı 3, s. 436, Eylül 1985.
- Herden, W., "Compact High Power Subnanosecond N₂ and "Open Air" Lasers at 760 Torr", Phys. Lett., Cilt 54A, Sayı 1, s. 96, Ağustos 1975.
- Small, J.G., Ashari, R., "A Simple Pulsed Nitrogen 3371 Å Laser with a modified Blumlein Excitation Method", Rev. Sci. Inst. Cilt 43, Sayı 8, s. 1205, Ağustos 1972.
- Bergmann, E. E., "UV TEA Laser with 760 Torr N₂", App. Phys. Lett., Cilt 28, Sayı 2, s. 84; Ocak 1976.
- Svedberg, A., "Observation of Superradiant Laser Action in Spark Discharges in Air at Atmospheric Pressure", App. Phys. Lett., Cilt 12, Sayı 3, s. 102, Şubat 1968.
- Stong, C. L., "Amateur Scientist", Scientific American, Cilt 230, Sayı 6, s. 122, Haziran 1974.



Lazer düzeni yeni güç kaynağıyla kurulmuş durumda. Ortadaki metal silindirik endüksiyon bobini, en öndeki devrecek yüksek gerilim oluşturan osilatör.