



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Güneş Pili. Ver. Sic. Bağlı Olarak Doğ. Inc.

Yüksek Lisans Tezi

MAGİDE CANTÜRK

46

15.10.72

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

1191

GÜNEŞ PİLLERİNDE VERİMİN SICAKLIĞA BAĞLI
OLARAK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

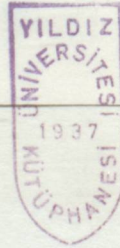
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MACİDE CANTÜRK

İSTANBUL 1989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

R 210
46
Kot :
Alındığı Yer :Fen Bilimleri Enst.
Tarih :20.03.1992.....
Fatura :
Fiyatı :15.000.-TL.....
Ayniyat No :1/1.....
Kayıt No :48236.....
UDC :530.....
Ek :

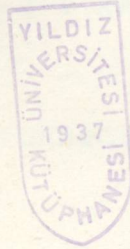


YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜNEŞ PİLLERİNDE VERİMİN SICAKLIĞA BAĞLI
OLARAK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

46



YÜKSEK LİSANS TEZİ
MACİDE CANTÜRK

İSTANBUL 1989

İÇİNDEKİLER

ÖZET	SAYFA
1-GİRİŞ	1
2-GENEL BİLGİLER	2
2.1 p-n KAVŞAĞI VE DİYOT DENKLEMİ	2
2.2 METAL-YARIİLETKEN KAVŞAKLAR	6
2.3 GÜNEŞ PİLLERİ	9
2.3.1- FOTOVOLTAİK OLAY	10
2.3.2- GÜNEŞ PİLİNİN KARAKTERİSTİKLERİ	13
3- DENEL ÇALIŞMA	20
3.1- DENEY DÜZENEGİ	20
3.2- KRİYOSTAT VE DİĞER ELEMANLAR	20
4- DENEY SONUÇLARI	24
4.1- SICAKLIĞIN AYDINLIK I-V KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ	24
4.2- SICAKLIĞIN AÇIK DEVRE GERİLİMİ VE KISA DEVRE AKIMINA ETKİSİ	24
4.3- FILL FAKTÖRÜ VE VERİM	24
4.4- SICAKLIĞIN KARANLIK I-V KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ	24
4.5- KARANLIK TERS AKIMININ SICAKLIĞA BAĞIMLILIĞI	25
5- TARTIŞMA VE SONUÇ	33
6- EKLER	35
7- KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamı kendi kurumumda yapma imkanı sağlayan hocam sayın Prof.Dr. Şevket ERK'e, tez yöneticiliğimi üstlenen, çalışmam boyunca beni yönlendiren ve bana bilimsel bir çalışma disiplini kazandıran hocam sayın Doç.Dr. Yani SKARLATOS'a, çalışmamın başından beri denel işlemlerde ve karşılaştığım her türlü problemde yardımlarını esirgemiyen hocalarım sayın Doç.Dr.Durul ÖREN'e veYard.Doç.Dr.İsa EŞME'ye, deney setimin hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı Arş.Gör. arkadaşlarım Kemal TOKMANOĞLU ve Mustafa ÖMÜR'e teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada sabit aydınlanma şiddeti altında BPW 21 fotopilin aydınlık akım-gerilim karakteristikleri ile açık devre gerilimi ve kısa devre akımının sıcaklıkla değişimi incelenerek bu karakteristikler yardımıyla verimin sıcaklıktaki yükselmeye bağlı olarak düştüğü tespit edildi.

Karanlık-ters akım gerilim karakteristiklerinin sıcaklıkla değişiminin incelenmesinden , karanlık-ters akımın sabit kalmayıp sıcaklıkla arttığı gözlemlendi.

SUMMARY

In the present work, BPW 21 photocell is used under the constant intensity. Light I-V open-circuit voltage and short-circuit current characteristics are examined and by these studies efficiency's reduction according to the rising temperature is found.

From the studying of the variation of the I-V characteristics by the temperature, it is found that the dark reverse current is increased by the increasing of temperature.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. P-N KAYNAĞI VE AYDINLATILAN ALAN

P ve N tipi iki yarı iletken kavesele ayrılmış bir yapıya sahiptir. P tarafında boşluk taşıyan iyonlar, N tarafında ise serbest elektronlar bulunur. P tarafında boşluk taşıyan iyonlar, N tarafında ise serbest elektronlar bulunur.

GİRİŞ

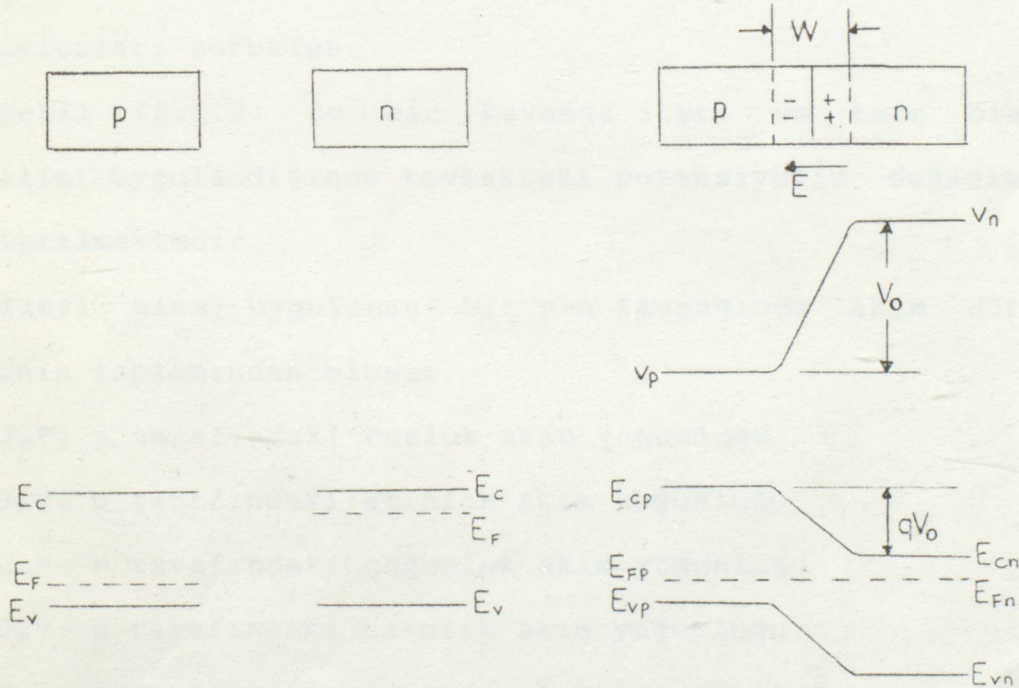
Bu çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan BPW 21 fotopilininin sabit aydınlanma şiddeti altında akım-gerilim karakteristikleri, verim ve karanlık ters akım-gerilim karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimleri incelenmiştir.

İkinci bölümde, güneş pilleri ile ilgili genel bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde, deney düzeneğinde kullanılan elemanlar tanıtılmaktadır. Dördüncü bölümde, deney sonuçları verilmektedir. Bu bölümde sıcaklığın, aydınlık I-V karakteristiklerine, açık devre gerilimi ve kısa devre akımına etkisi incelenmektedir. Buradan sıcaklığın Fill faktörüne ve verime etkisine geçilmekte, daha sonra da karanlık I-V karakteristiklerine ve karanlık-ters akımına etkisi verilmektedir. Beşinci bölüm tartışma ve ulaşılan sonuçları içermektedir. Altıncı bölümdeki eklerde ise fotopilin katalog özellikleri, Yedinci bölümde de kaynaklar yer almaktadır.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 p-n KAVŞAĞI ve DİYOT DENKLEMİ

p ve n tipi iki yarı iletken kavşak oluşturmak üzere bir araya getirildiğinde, n tarafından p tarafına elektron, p tarafından n tarafına boşluk geçişi olur. Sonuçta n tarafının kavşak bölgesinde (+) donör iyonları, p tarafında (-) akseptör iyonları oluşur. Bu iyonların yol açtığı elektrik alan nedeniyle, bir taraftan diğer tarafa taşıyıcı difüzyonu sona erer. Denge halinde kavşak boyunca net akım sıfır olur.



Sekil.2.1.1

$$J_p(\text{sürüklenme}) + J_p(\text{difüzyon}) = 0$$

$$J_n(\text{sürüklenme}) + J_n(\text{difüzyon}) = 0$$

Kavşakta elektrik alanın gözlemlendiği bölgeye W geçiş bölgesi denir. W ' nin uçları arasında V_0 potansiyel farkı vardır. Bu potansiyel farkına " kontak potansiyeli" denir.

Geçiş bölgesinde elektronlar ve boşluklar, kavşağın bir bölgesinden diğerine geçebilirler. Bazı elektronlar n tarafından p tarafına difüzyonla geçerken, bazıları da elektrik alanla p tarafından n tarafına sürüklenirler. Boşluklar için de tersi geçerlidir. Bununla birlikte çok az taşıyıcı geçiş bölgesinde bulunur. Çünkü kavşak bölgesindeki elektrik alan, bu bölgede dolaşan taşıyıcıları sürükler.

Şekil (2.1.2) de bir kavşağa ileri ve ters bias gerilimi uygulandığında kavşaktaki potansiyelin değişimi gösterilmektedir.

İleri bias uygulanan bir p-n kavşağında akım dört etkinin toplamından oluşur.

J_p^p : p tarafındaki boşluk akım yoğunluğu

J_n^p : p tarafındaki azınlık akım yoğunluğu

J_n^n : n tarafındaki çoğunluk akım yoğunluğu

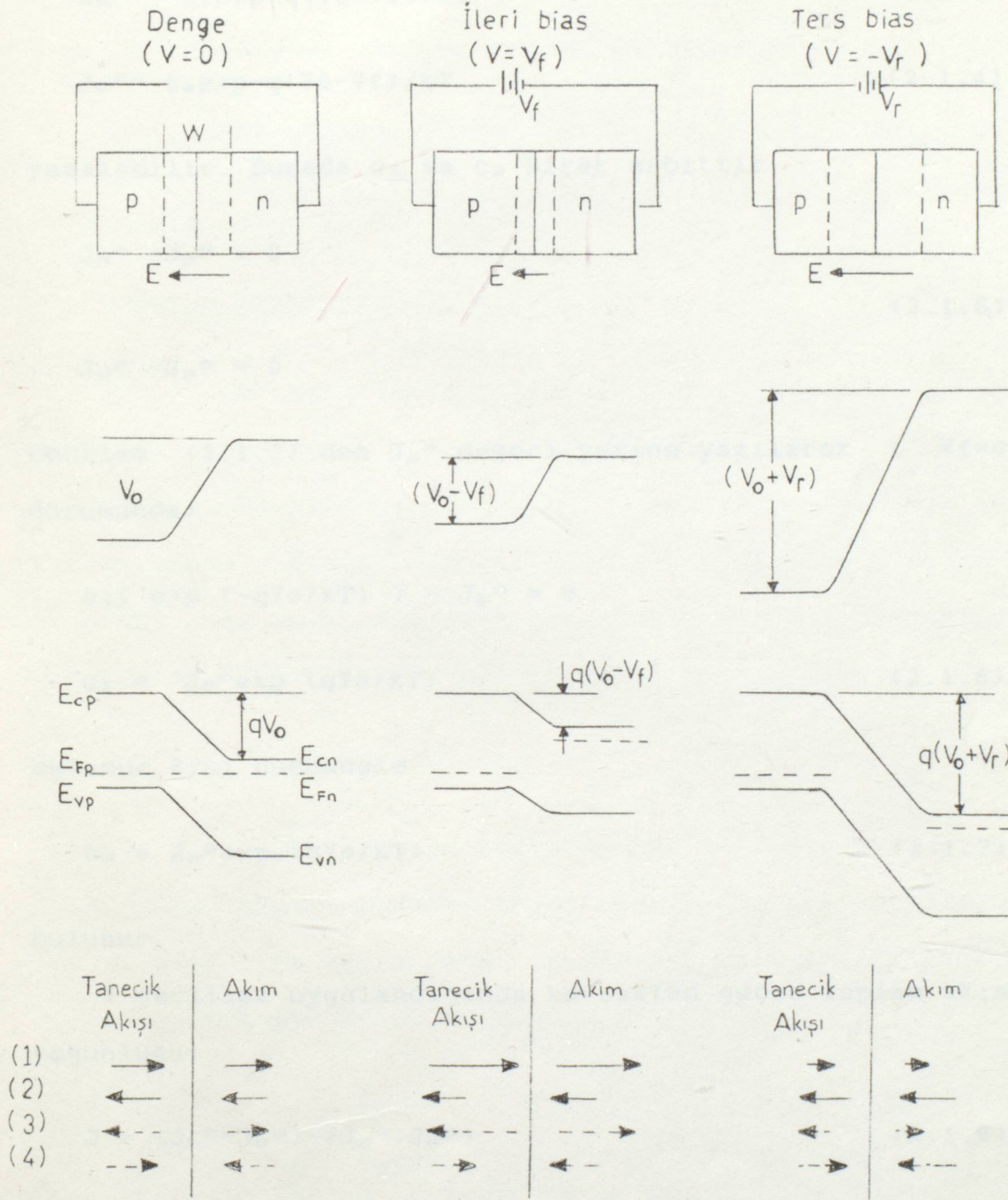
J_p^n : n tarafındaki azınlık akım yoğunluğu

Buna göre kavşaktan geçen net akım yoğunluğu ;

$$J = (J_n^n + J_p^p) - (J_p^n + J_n^p) \quad (2.1.2)$$

(2.1.2) Bağntısındaki birinci terim çoğunluk

yüklerinin akım yoğunluğu, ikinci terim ise azınlık yüklerinin akım yoğunluğudur.



Şekil: 2.1.1

(1) Boşluk difüzyonu (3) Elektron difüzyonu

(2) Boşluk sürüklenmesi (4) Elektron sürüklenmesi

$$J_n^n = c_1 \exp(-q(V_0 - V_f)/kT) \quad (2.1.3)$$

$$J_p^p = c_2 \exp(-q(V_0 - V_f)/kT) \quad (2.1.4)$$

yazılabilir. Burada c_1 ve c_2 birer sabittir.

$$J_n^n - J_p^n = 0 \quad (2.1.5)$$

$$J_p^p - J_n^p = 0$$

Denklem (2.1.3) den J_n^n değeri yerine yazılarak ($V_f=0$ durumunda)

$$c_1 [\exp(-qV_0/kT)] - J_p^n = 0$$

$$c_1 = J_p^n \exp(qV_0/kT) \quad (2.1.6)$$

bulunur. Aynı düşünüşle

$$c_2 = J_n^p \exp(qV_0/kT) \quad (2.1.7)$$

bulunur.

V gerilimi uygulandığında kavşaktan geçen toplam akım yoğunluğu;

$$J = (J_n^n + J_p^p) - (J_p^n + J_n^p) \quad (2.1.8)$$

çoğunluk yüklerinin oluşturduğu akım yoğunluğu (2.1.8) denleminde yerine yazılarak ;

$$J = J_0 [\exp(qV/kT) - 1] \quad (2.1.9)$$

bulunur. Burada

$J_0 (= J_p^n + J_n^p)$ Akım yoğunluğuna " saturasyon akım yoğunluğu " denir.

(2.1.9) Denklemi akım cinsinden de yazılabilir.

$$I = I_0 [\exp(qV/kT) - 1] \quad (2.1.10)$$

Bu denklem diyot denklemidir.

2.2 METAL - YARIİLETKEN KAVŞAKLAR

Metal ile yarıiletken biraraya getirildiğinde denge durumuna ulaşınca , fermi seviyeleri eşitlenir. Metal-yarıiletken kavşakların davranışı , her iki malzemenin iş fonksiyonuna bağlı olarak değişir. Metalde vakum seviyesi ile fermi seviyesi arasındaki enerji aralığına malzemenin "çıkış işi" veya "iş fonksiyon" denir.

$$\Phi = W - E_F \quad (2.2.1)$$

Metal ile yarıiletken temas haline getirildiğinde iş fonksiyonu küçük olandan büyük olan malzemeye elektron geçişi olur. Bu geçiş Fermi seviyeleri eşit olana kadar sürer. Burada iki durum söz konusudur.

$$1) \Phi_m > \Phi_m(n)$$

$$ii) \Phi_m < \Phi_m(n)$$

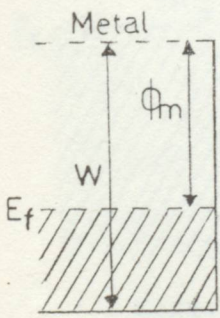
$$\Phi_m < \Phi_m(p)$$

$$\Phi_m > \Phi_m(p)$$

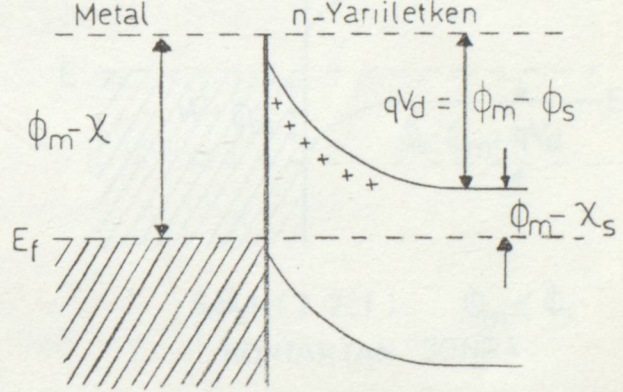
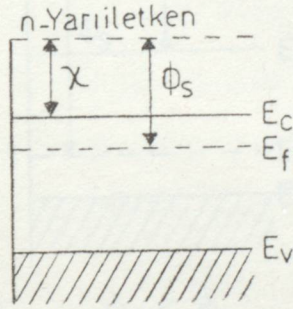
İlk durum, metal yarıiletken diodların (Schottky Barrier diodları) , ikincisi ise omik kontakların esasını oluşturur.

Şekil (2.2.a) ve Şekil (2.2.c) sırasıyla $\phi_m > \phi_s$ ve $\phi_m < \phi_s$ durumlarında kontak yapmadan önceki ve Şekil (2.2.b) ve Şekil (2.2.d) ise kontak oluştuktan sonraki metalin ve yarıiletkenin enerji seviyesi diyagramlarını göstermektedir.

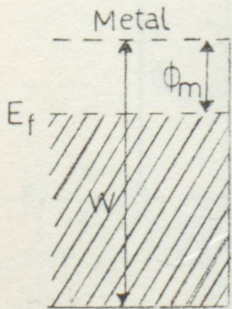
Şekil (2.2.b) deki kontak doğrultucu gibi davranır. Çünkü $\phi_m - \phi_s$ engeli, yarıiletkenin iletkenlik bandı içindedir. Şekil (2.2.d) iletkenlik bandında görünür bir engel olmadığı için omik kontak gibi davranır.



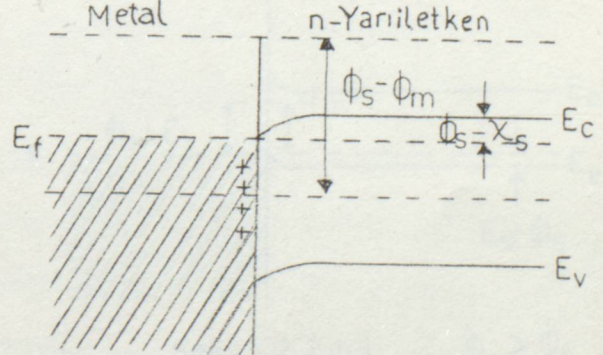
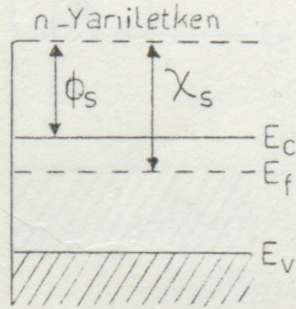
Şekil: (2.2.a) $\phi_m > \phi_s$
KONTAKTAN ÖNCE



Şekil: (2.2.b) $\phi_m > \phi_s$
KONTAKTAN SONRA

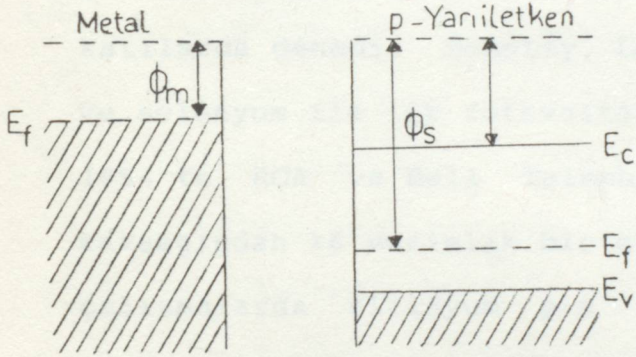


Şekil: (2.2.c) $\phi_m < \phi_s$
KONTAKTAN ÖNCE

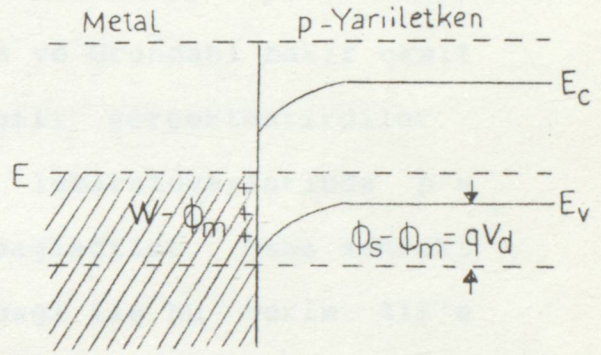


Şekil: (2.2.d) $\phi_m < \phi_s$
KONTAKTAN SONRA

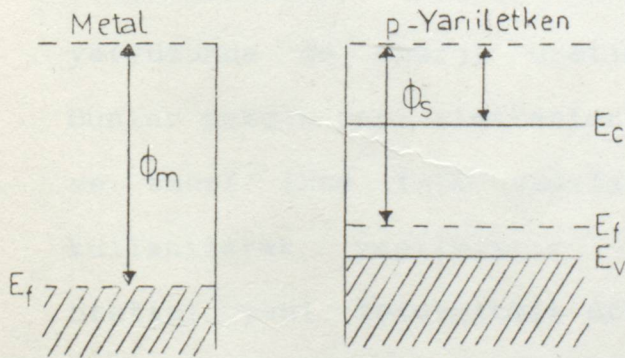
Şekil (2.2.e) ve Şekil (2.2.g) sırasıyla $\phi_m < \phi_s$ ve $\phi_m > \phi_s$ durumlarında kontak oluşmadan ve kontak oluştuktan sonraki metal ile p tipi yarıiletkenin enerji seviyesi diyagramlarını göstermektedir. Şekil(2.2.f) deki kontak doğrultucudur. Çünkü $\phi_s - \phi_m$ engeli boşlukların akışına bağlıdır. Şekil(2.2.h) da akımın akışı karşısında bir engel olmadığı için omiktir.



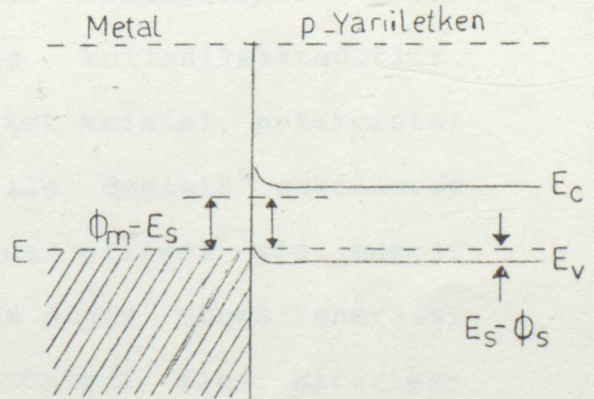
Şekil:(2.2.e) $\phi_m < \phi_s$
KONTAKTAN ÖNCE



Şekil:(2.2.f) $\phi_m < \phi_s$
KONTAKTAN SONRA



Şekil:(2.2.g) $\phi_m > \phi_s$
KONTAKTAN ÖNCE



Şekil:(2.2.h) $\phi_m > \phi_s$
KONTAKTAN SONRA

Metal n-tipi yarıiletkende $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda ve metal p-tipi yarıiletkende $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda kontaklar doğrultucu, diğer durumlarda omiktir⁽⁶⁾.

2.3 GÜNEŞ PİLLERİ

1839'da E.Becquerel bir elektrolit içine batırılan elektrotlardan birinin üzerine ışık düşürüldüğünde elektrotlar arasında bir potansiyel farkının oluştuğunu gözledi. 1877'de W.G.Adams ve R.E.Day aynı olayı katıllarda denedi. Schotty, Lange ve Grondahl bakır oksit ve selenyum ile ilk fotovoltaiik pili gerçekleştirdiler. 1954'te RCA ve Bell Telephone laboratuvarlarında p-n kavşağından %6 verimlik bir güç sağladılar. Daha sonraki çalışmalarda silisyum p-n kavşağı ile bu verim %15'e çıkmıştır⁽⁷⁾.

Güneş pilleri ilk olarak 1954'te yapılması olmaları bakımından yeni sayılacak enerji üretim araçlarıdır. Bunlar yakın zamanlara kadar yalnız uzay araçlarında kullanılmışlar, petrol krizinin başlamasından sonra yeryüzünde de enerji üretiminde kullanılmaktadırlar. Bunlar pek çok yarı iletkenlerle, tek kristal, polikristal ve amorf ince film yapıları ile değişik şekillerde kullanılarak yapılmıştır. Güneş pilleri ile enerji üretimi yani fotovoltaiik dönüşüm diğer güneş enerjisi veya başka enerji üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında pek cazip görülmemektedir.

2.3.1 FOTOVOLTAİK OLAY

Bir p-n kavşağı üzerine yeterli enerjide ($h\nu > E_g$) bir ışık demeti düşerse, fotonlar serbest elektronlarla, boşluklarla veya valans elektronlarıyla karşılaşabilirler. Fakat bir fotonun serbest bir elektrona rastlayıp ona enerji vermesi zayıf bir olasılıktır.

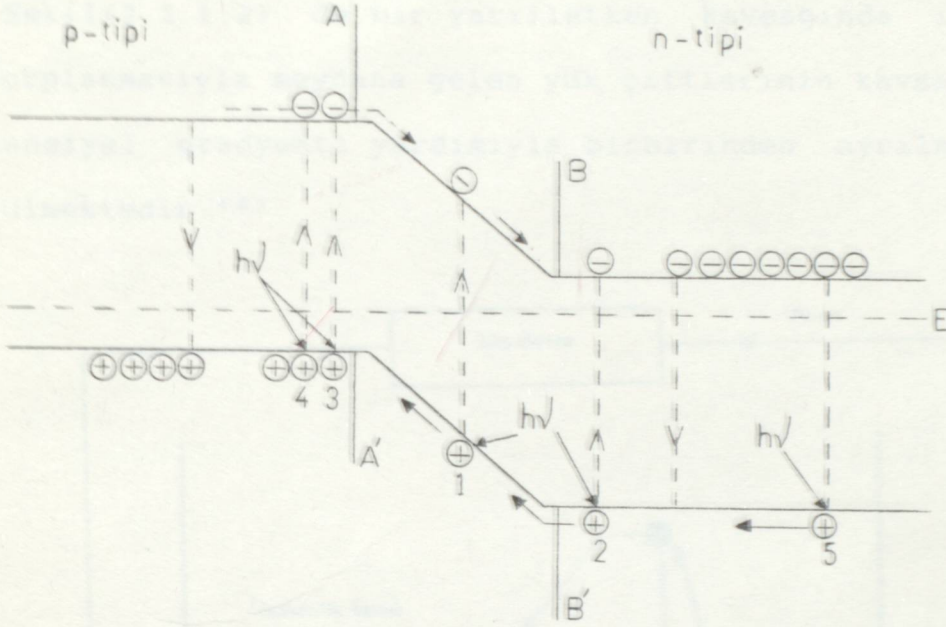
Fotovoltaik olay iki aşamadan oluşur. Pozitif-negatif elektrik yük çiftlerinin yaratılması ve bir elektrik alan yardımıyla bu çiftlerin ayrılmasıdır.

Yarıiletkenlerin band yapısı yasak bir enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Oda sıcaklığında elektronların büyük çoğunluğu alçak enerjili valans bandında bulunur. Yüksek enerjideki iletkenlik bandı ise hemen hemen boştur. Bir foton bir valans elektronuna rastlar ve ona yasak band aralığı E_g 'ye eşit veya daha büyük bir enerji verirse, valans bandından sökülen elektron arkasında bir boşluk bırakarak iletkenlik bandına geçer. Şekil(2.3.1.1) de gösterildiği gibi bu olay kavşağın değişik noktalarında meydana gelebilir (2).

Elektronun valans bandında bıraktığı boşluk ise pozitif yüklü bir parçacık gibi hareket eder. Böylece yarıiletkende fotonların soğurulup pozitif-negatif yük çiftlerinin meydana gelmesi ile güneş pillerinin birinci şartı sağlanmıştır.

Elektron- boşluk yük çifti AB aralığında oluşursa (Şekilde 1 no ile gösterilmiştir) yüksek potansiyel

gradyenti nedeniyle elektrik alan elektronu n-tipi bölgeye, boşluğu da p-tipi bölgeye doğru hızlandırır.



Şekil: 2.3.1.1

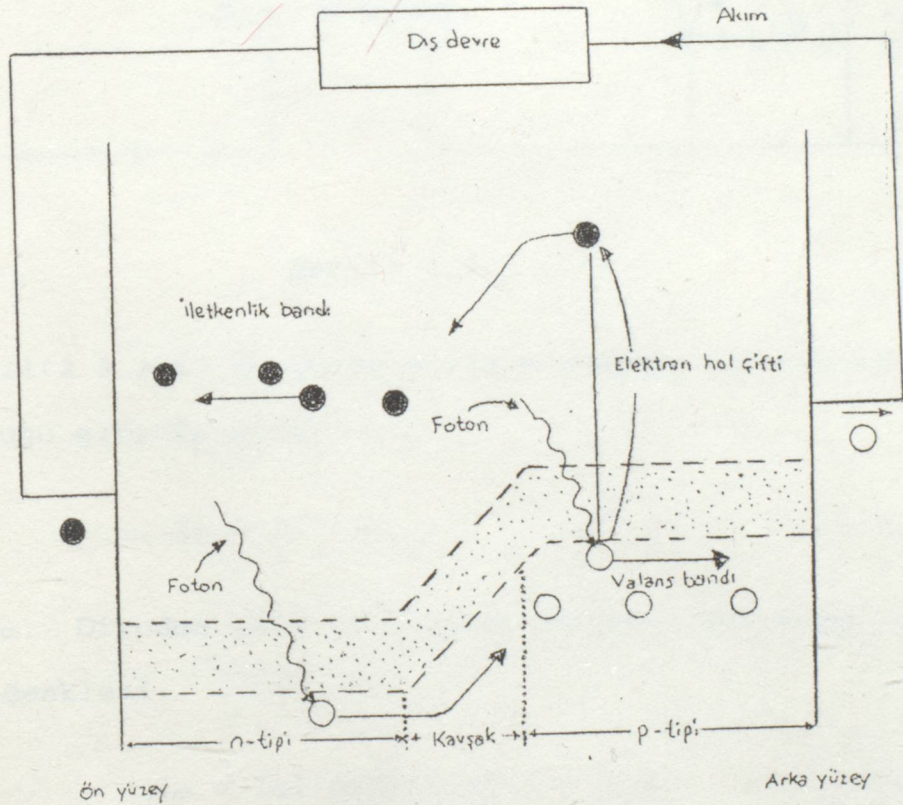
Bu bölgeler yük taşıyıcılarının çoğunlukta oldukları bölgelerdir. Bu geçiş sonunda p-tipi bölge de negatif olarak yüklenir.

Eğer elektron boşluk- çifti n-tipi bölgede meydana gelirse (şekilde 2 no ile gösterilmiştir), azınlık yük taşıyıcı yani boşluk ,kavsağı aşarak p-tipi bölgeye geçer. Bu durumda yine n-tipi bölgeden , p-tipi bölgeye pozitif bir yük geçişi olur.

Yük çifti bu kez de p-tipi bölgede oluşursa (şekilde 3 no ile gösterilmiştir) enerji alan elektronlar kavsağı aşarak n-tipi bölgeye geçerler. Bu durumda p-tipi bölgeden , n-tipi bölgeye negatif yük geçişi olur.

Kavşaktan uzakta oluşan elektronlar ve boşluklar tekrar birleşerek kaybolur. şekilde 4 ve 5 no ile gösterilmiştir.

Şekil(2.3.1.2) de bir yarıiletken kavşağında ışığın absorplanmasıyla meydana gelen yük çiftlerinin kavşaktaki potansiyel gradyenti yardımıyla birbirinden ayrılmaları görülmektedir (3).

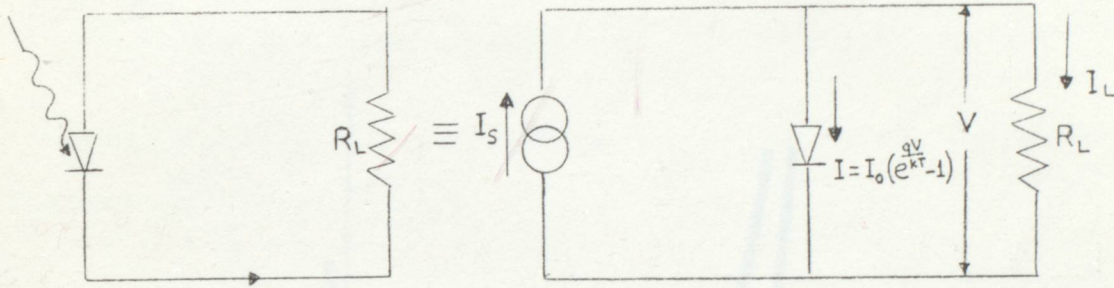


Şekil: 2.3.1.2

Azınlık yük taşıyıcısı kavşağa yakın bölgelerde bulunduğça kavşağı geçme olasılığı artar. Fotonların oluşturduğu akımdan yararlanabilmek için önce p-n kavşağı bölgesi ışık almalı ve elde edilen akım bir dış devreye yönlendirilmelidir.

2.3.2 GÜNEŞ PİLİNİN KARAKTERİSTİKLERİ

Kavşağın uçlarına bir dış R_L yük direnci bağlanırsa I_s akımının I_L kadarı dış devreden akar. Böylelikle kavşakta ışık enerjisi elektrik enerjisine dönüşür.



Şekil: 2.3.2.1

Şekil(2.3.2.1) de güneş pilinin eşdeğer devresinde '4' görüldüğü gibi I_s akımı

$$I_s = I + I_L \quad (2.3.2.1)$$

olur. I_0 : Diyodun ters saturasyon akımını göstermek üzere diyod denklemi:

$$I_s = I_0 [\exp(qv/kT) - 1] \quad (2.3.2.2)$$

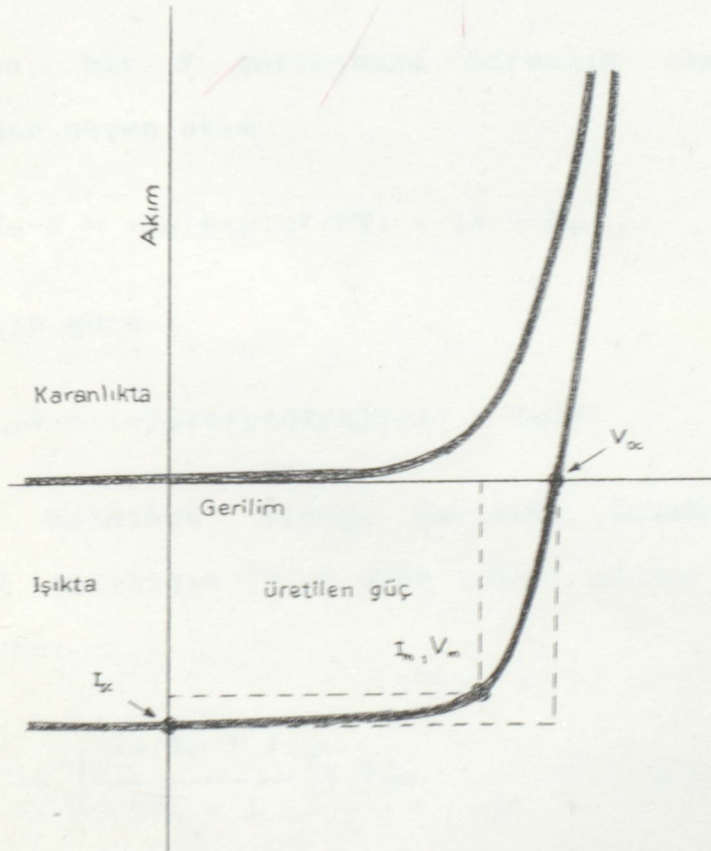
Bu bağıntı (2.3.2.1) denkleminde yerine yazılırsa,

$$I = I_0 [\exp(qv/kT) - 1] - I_L \quad (2.3.2.2)$$

bağıntısı bulunur.

Bir fotovolttaik pil Şekil(2.3.2.1) de görüldüğü gibi fotonların meydana getirdiği akımı geçirecek bir diyoda

paralel bağlanmış sabit bir akım kaynağı gibi çalışır⁽⁵⁾. I_s kaynağı, ışık etkisiyle oluşan çoğunluk taşıyıcıların uyarılmaları ile oluşmuştur. Güneş pili bir diyot olduğundan doğrultucu özelliği gösterir. İçinden geçen akım uygulanan gerilimin üstel bir fonksiyonudur. Bu karakteristik Şekil (2.3.2.2) de görülmektedir.



Şekil: 2.3.2.2

Yukarıdaki şekil aynı zamanda I_m ve V_m büyüklüklerini de tanımlamaktadır. Bunlar maksimum güç çıkışı için akım ve gerilimdir. ($P_m = I_m \cdot V_m$)

(2.3.2.3) denkleminde açık devre voltajı için ($I_L=0$):

$$V_{oc} = kT/q \ln(I_s/I_o + 1) \approx kT/q \ln(I_s/I_o) \quad (2.3.2.4)$$

olur. Verilen bir I_s akımı için açık devre gerilimi V_{oc} , I_o saturasyon akımının logaritması ile ters orantılı olarak artar.

2.3.3 GÜNEŞ PİLİNİN VERİMİ

Verilen bir V gerilimine karşılık olan R_L yük direncinden geçen akım

$$I_L = I_s - I = -I_o[\exp(qV/kT) - 1] + I_s \quad (2.3.3.1)$$

olur. Çıkış gücü :

$$P = I_L \cdot V = [-I_o(\exp(qV/kT) - 1) + I_s]V \quad (2.3.3.2)$$

Gücün maksimum olduğu gerilimi bulabilmek için (2.3.3.2) eşitliğin V 'ye göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse;

$$V_m = \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{I_s/I_o + 1}{\beta V_m + 1} \right] \approx V_{oc} - \frac{1}{\beta} \ln(1 + \beta V_m) \quad (2.3.3.3)$$

olur. ($\beta = q/kT$)

Maksimum çıkış gücü;

$$P_m = I_m \cdot V_m \approx I_s \left[V_{oc} - \frac{1}{\beta} \ln(1 + \beta V_m) - \frac{1}{\beta} \right] \quad (2.3.3.4)$$

olarak verilir.

Güneş pillerini karakterize eden bir büyüklük de fiil faktörüdür. Pilden elde edilen enerji akım - gerilim çarpımına eşit olduğuna göre alınabilecek maksimum enerji iki eğri arasına sığdırılabilecek en büyük dörtgenin alanı ile temsil edilir. Bu alan her zaman kısa devre akımı ile açık devre geriliminin çarpımından küçüktür⁽³⁾.

Fill faktörü , I-V eğrisinin içine çizilebilecek maksimum dikdörtgenin alanının, bütün alana oranı olarak tanımlanır. Eğri katsayısı adı da verilen iki çarpımın birbirine oranı genellikle 0.7 ile 0.8 arasında değişmektedir.

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{so} \cdot V_{oo}} \quad (2.3.3.5)$$

veya

$$FF = \frac{V_m}{V_{oo}} \left[1 - \frac{\exp(qV_m/KT)-1}{\exp(qV_{oo}/kT)-1} \right] \quad (2.3.3.6)$$

denklemini bulunur.

Güneş pilinin verimini , güç ifadesinden

$$\eta = \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} = \frac{V_m \cdot I_m}{P_{\text{giriş}}} \quad (2.3.3.7)$$

Maksimum çıkış gücü P_m ise ,

$$P_m = V_m \cdot I_m = V_{oo} \cdot I_{so} \cdot FF \quad (2.3.3.8)$$

olur. Böylece güneş pilinin veriminin % cinsinden ifadesi

$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{giriş}} \cdot 100 \% \quad (2.3.3.9)$$

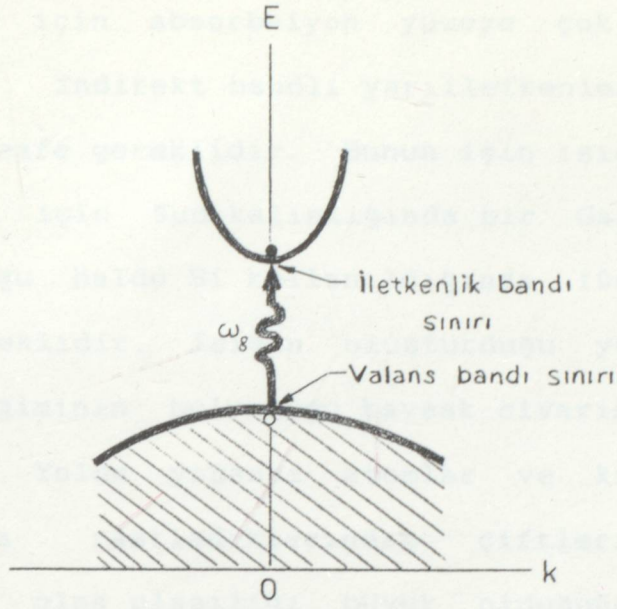
bulunur.

Gerilim verimliliği , band aralığı enerjisine bağlı olup sıcaklıkla değişir. p-n kavşaklarından elde edilen gerilim, band aralığının 2/3'si ile 3/4 'ü arasında değişmekte olup Schottky engellerinden biraz daha büyüktür. Ayrıca Schottky engelli pillerde ışığın küçük bir kısmı metal tarafından absorblandığı için bu pillerin verimlilikleri p-n kavşaklarından biraz daha düşüktür. Yarıiletkenin band aralığı arttıkça gerilim de artmakla beraber eldeki ışığın enerjisini geçerse ışığın absorblanamıyacağından verimlilik aniden sıfıra düşer.

Bu bakımdan eldeki ışığa göre optimum bir band aralığı vardır. Yeryüzündeki güneş ışığı için optimum aralık enerjisi 1.43 eV ve Si için 1.2 eV'tur.

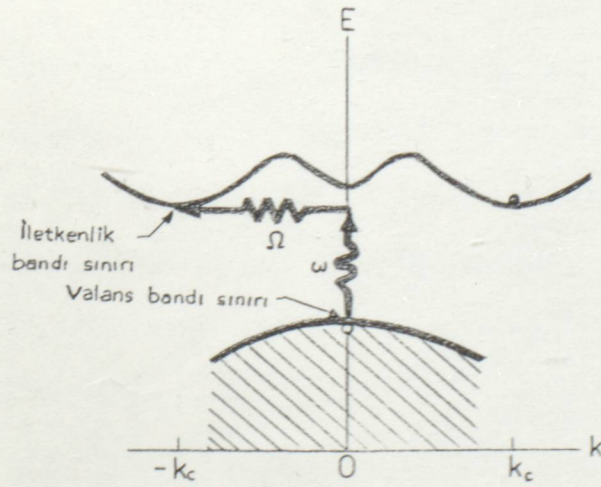
Sekil(2.3.3.1) de yarıiletkenin valans bandı maksimumu ile iletkenlik bandı minimumu momentum uzayında üst üste gelmektedir. Elektronlar bir banttan diğerine geçerken momentumlarını korurlar.

Bu tip yarıiletkenlere "direkt bandlı yarıiletken" adı verilir. GaAs böyle bir yarıiletkendir. Sekil(2.3.3.2) deki yarıiletken ise valans bandı maksimumuyla , iletkenlik bandı minimumu değişik momentum değerlerinde yer almaktadır. Bu tip yarıiletkenlere "indirekt bandlı yarıiletken" denir. Böyle bir kristalde elektron



Şekil: 2.3.3.1

geçişlerinde momentumun korunması için bir fotonun yaratılması veya absorblanması gerekir. Si indirekt bandlı bir yarıiletkenidir.



Şekil: 2.3.3.2

Bir direkt bantlı yarıiletkende ışık hemen absorblandığı için absorbsiyon yüzeye çok yakın bir bölgede olur. Indirekt bandlı yarıiletkenlerde ise daha uzun bir mesafe gereklidir. Bunun için ışığın tamamen absorblanması için $5\mu\text{m}$ kalınlığında bir GaAs kristali yeterli olduğu halde Si kullanıldığında $100\mu\text{m}$ 'lik bir kalınlık gereklidir. Işığın oluşturduğu yük çiftleri potansiyel eğiminin bulunduğu kavşak civarına gelmeden ayrılamazlar. Yolda yabancı atomlar ve kristal yapı bozukluklarına rastladıklarından çiftlerin tekrar birleşip yok olma olasılığı büyük olduğundan indirek aralıklı yarıiletken kristallerin verimlilik bakımından direkt aralıklara göre daha saf ve kusursuz olmaları gereklidir.

3 - DENEL ÇALIŞMA

3.1 DENEY DÜZENİ

Bu çalışmada BPW 21 fotopil kullanıldı. Deney düzeni Şekil(3.1.1) de görüldüğü gibi hazırlandı.

3.2 KRIYOSTAT VE DİĞER ELEMANLAR

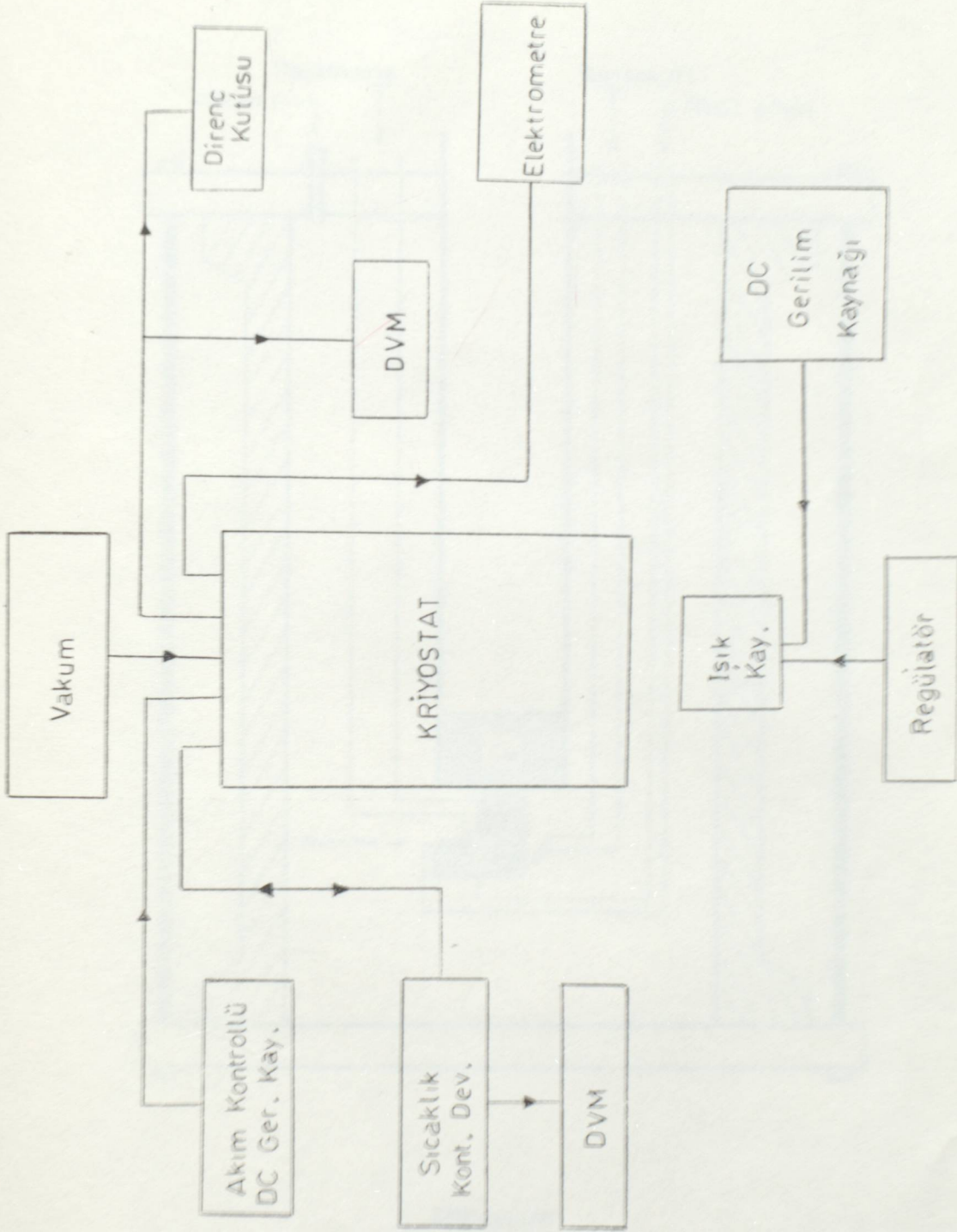
Bir güneş pilinin akım ve geriliminin sıcaklığa bağlı olarak değişimlerinin 0°C - 100°C aralığında duyarlı bir şekilde incelenebilmesi için Şekil(3.2.1) de gösterilen bir kriyostat düşünüldü.

Kriyostat, çevresi kalayla kaplı bir cam ve bunun içine yerleştirilmiş alt kısmı bakır, üst kısmı nikelden yapılmış içi boş bir hazneden oluşmaktadır. Alt kısmın ucunda yine bakırdan örnek yeri ve kenarında termoçiftin yerleşmesi için bir delik bulunmaktadır. Örnek konulacak yerin üzerine ısıtıcı olarak 20 Watt'lık bir direnç teli sarıldı.

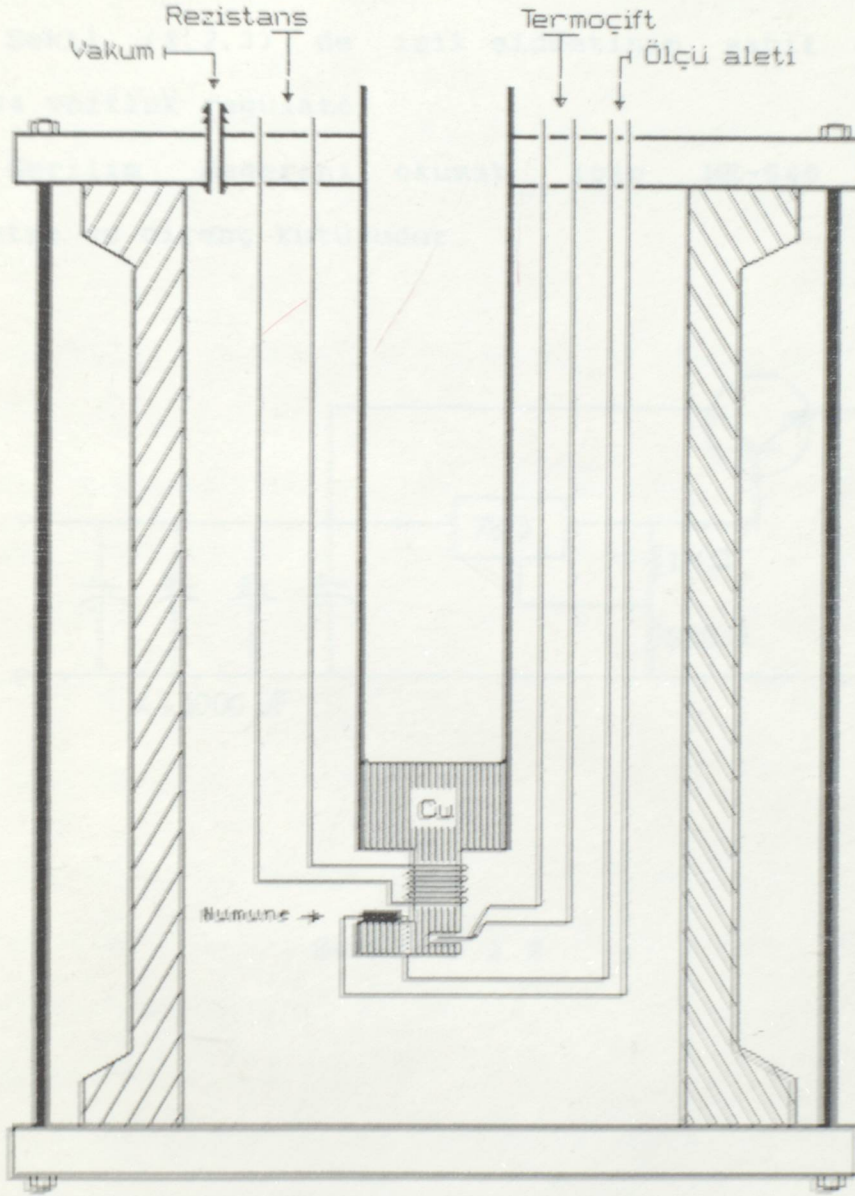
Kriyostatin sıcaklığını ölçmek için kullanılan kromel-alümel termoçift, sıcaklık kontrol devresine⁽⁶⁾ bağlandı. Cihazın $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ çıkışlı elektronik termometre kısmı 0°C - 1300°C aralığında sıcaklık okuyabilmektedir.

Isıtıcıyı beslemek için akım kontrollü DC gerilim kaynağı kullanıldı.

Kriyostatin iç haznesine buz-tuz karışımı konulup 0°C 'ye rahatlıkla inildi ve örnek istenilen sıcaklıkta kontrol edildi.



Şekil: 3.1.1

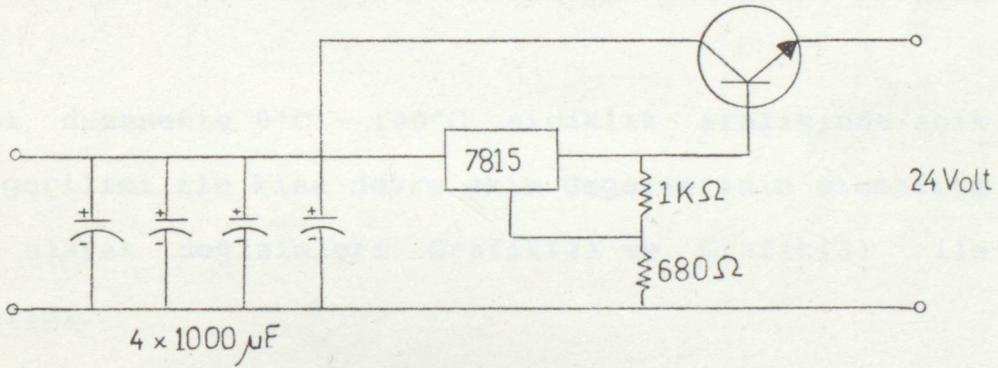


KRIYOSTAT

Şekil: 3.2.1

Deneyde kullanılan diğer elemanlar:

- 10^{-1} - 10^{-11} Amper aralığında akım okuyan Keithley 616 digital elektrometre
- Aydınlatma için 24V-150Watt'lık halojen lamba
- Şekil (3.2.3) de ışık şiddetinin sabit kalması için 24 voltluk regülatör
- Gerilim değerini okumak için ME-540 digital voltmetre ve direnç kutusudur.



Şekil: 3.2.3

4 - DENEY SONUÇLARI

4.1 SICAKLIĞIN AYDINLIK I-V KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Şekil(3.1.1) deki deney seti hazırlandıktan sonra farklı gerilimlere karşılık akım değerleri okundu. Sabit aydınlanma şiddeti altında 0°C den 100°C sıcaklık aralığında akım - gerilim karakteristikleri çizildi Grafik(1).

4.2 SICAKLIĞIN AÇIK DEVRE GERİLİMİ VE KISA DEVRE AKIMINA ETKİSİ

Aynı düzeneğe 0°C - 100°C sıcaklık aralığında açık devre gerilimi ile kısa devre akım değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimleri Grafik(2) ve Grafik(3) ile gösterildi.

4.3 FİLL FAKTÖRÜ VE VERİM

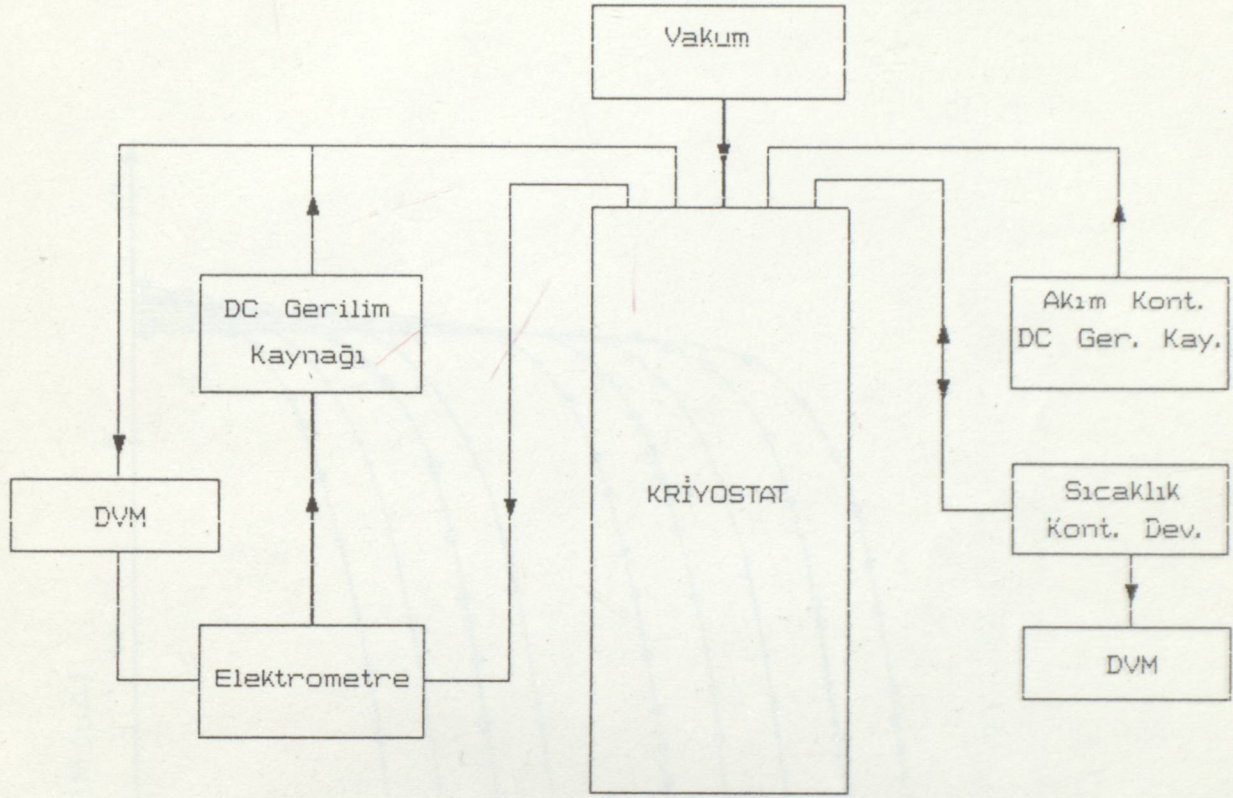
Farklı sıcaklık değerleri için çizilen Grafik(1) deki I-V karakteristiklerinden (2.3.3.6) bağıntısı ile Fill faktörleri hesaplandı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak çizildi Grafik(4).

(2.3.3.9) bağıntısı kullanılarak verim hesaplandı ve sıcaklığa bağlı olarak çizildi Grafik(5).

4.4 SICAKLIĞIN KARANLIK I-V KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Şekil(4.4.1) deki devre hazırlandıktan sonra fotopile sabit ters gerilim uygulayarak 5°C - 95°C arasında sıcaklık değiştirilerek, karanlık - ters akım değerleri

okundu Grafik(6).

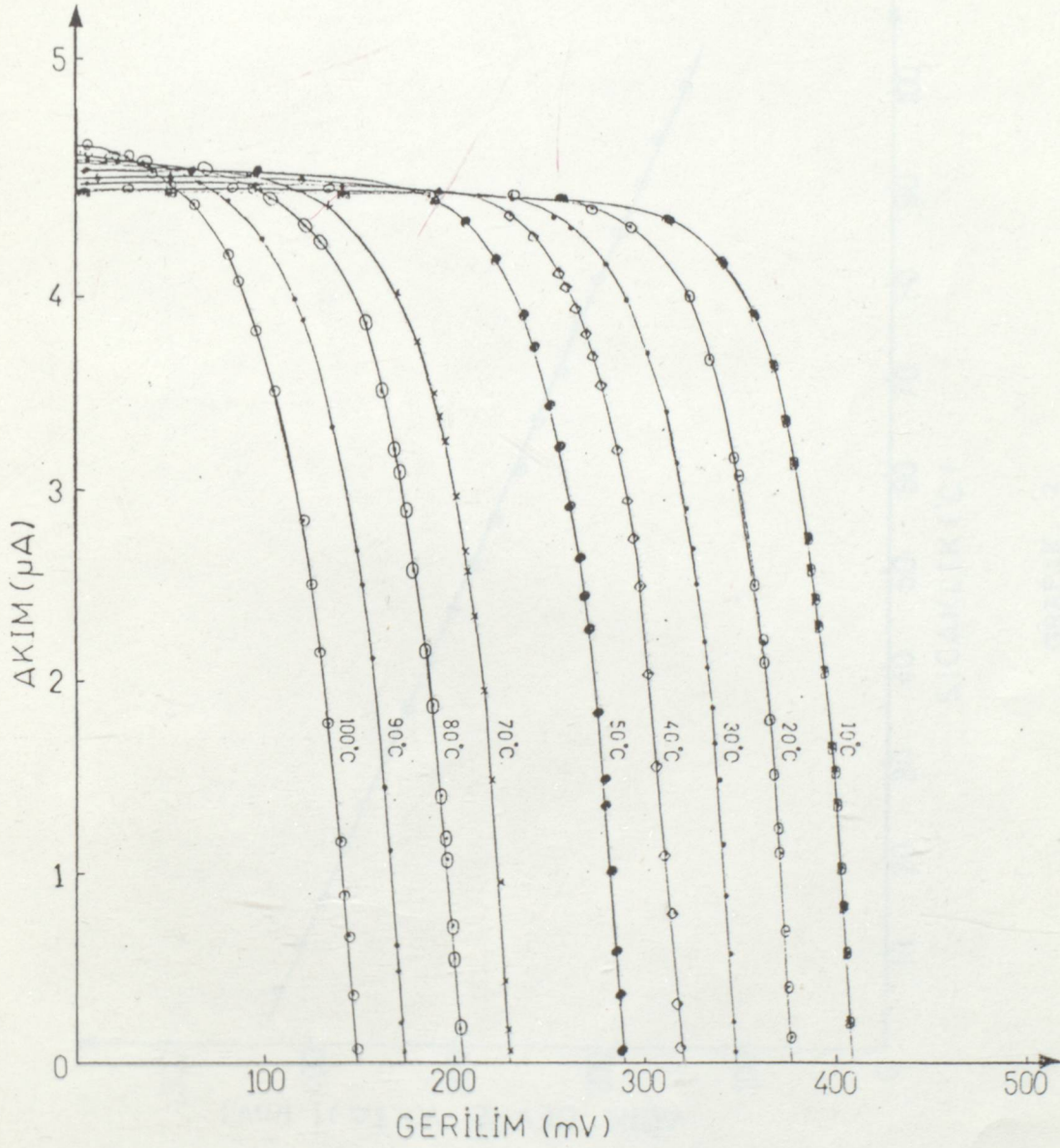


Sekil: 4.4.1

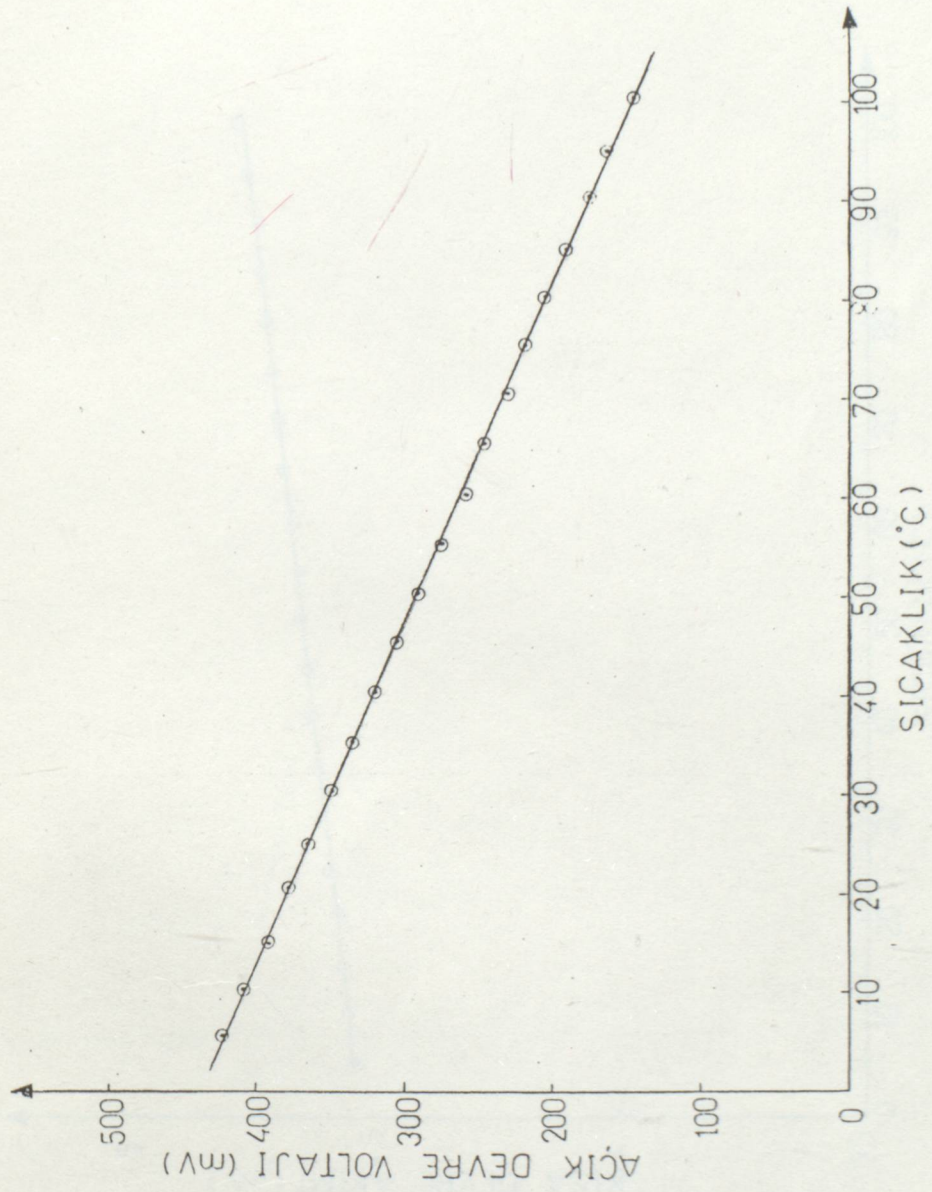
DENEY SETİ

4.5 KARANLIK-TERS AKIMININ SICAKLIĞA BAĞIMLILIĞI

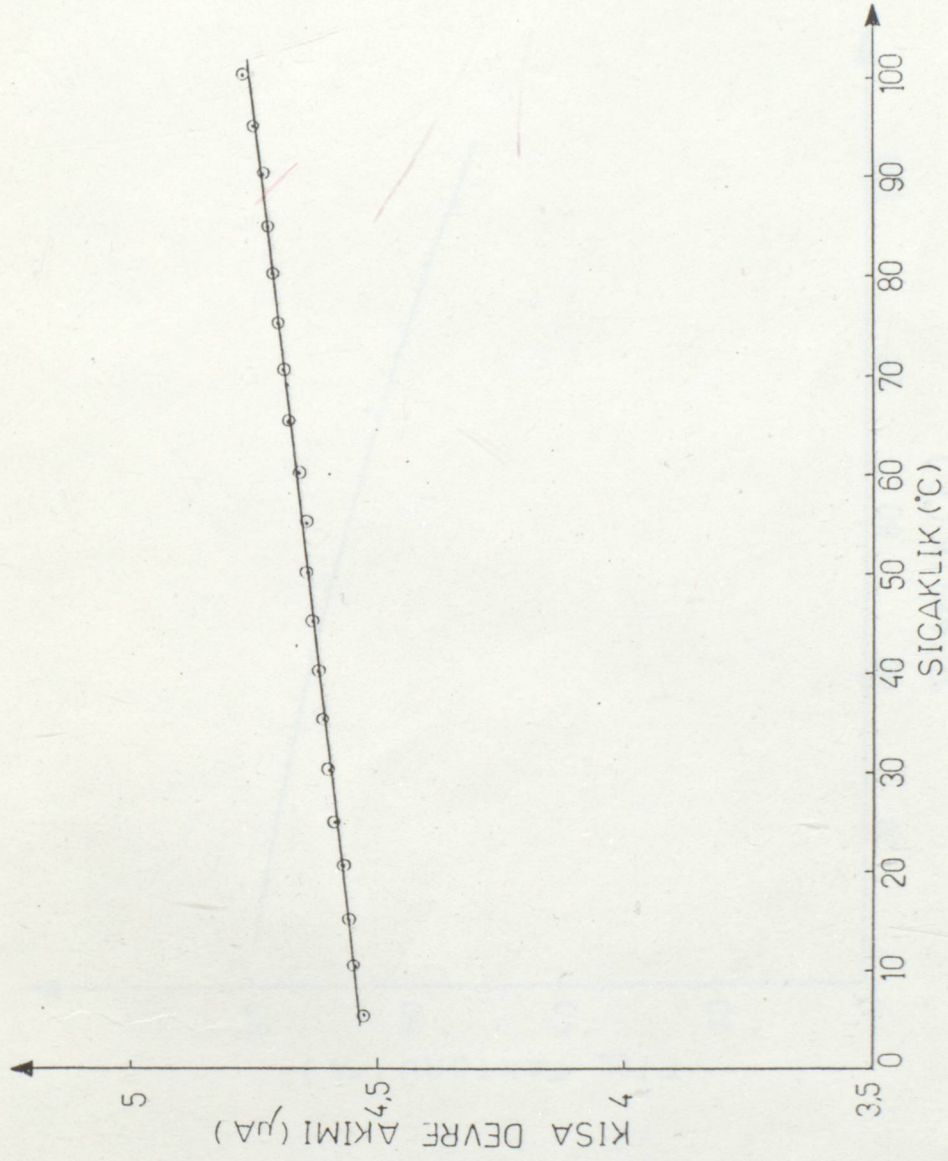
Farklı ters gerilim değerleri altında karanlık - ters akımının sıcaklığa bağımlılığı Grafik(7) de gösterildi.



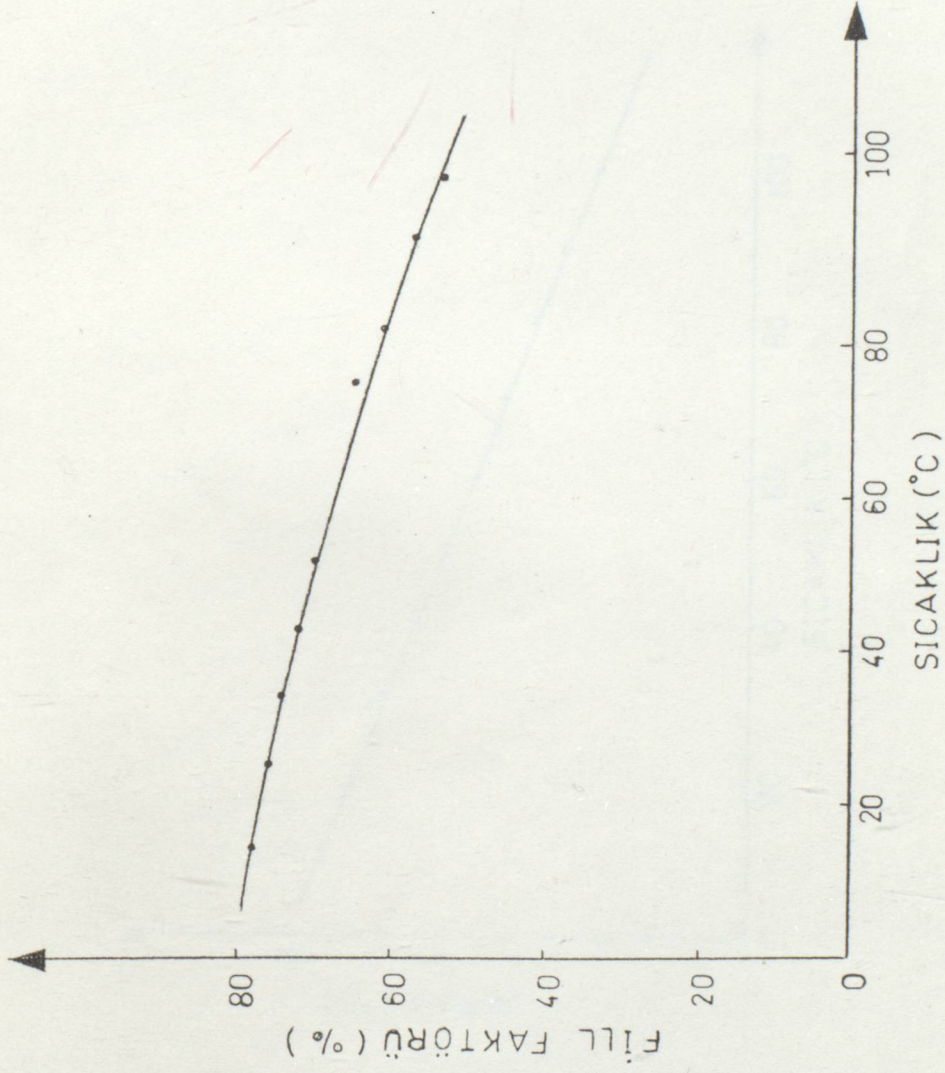
GRAFİK: 1



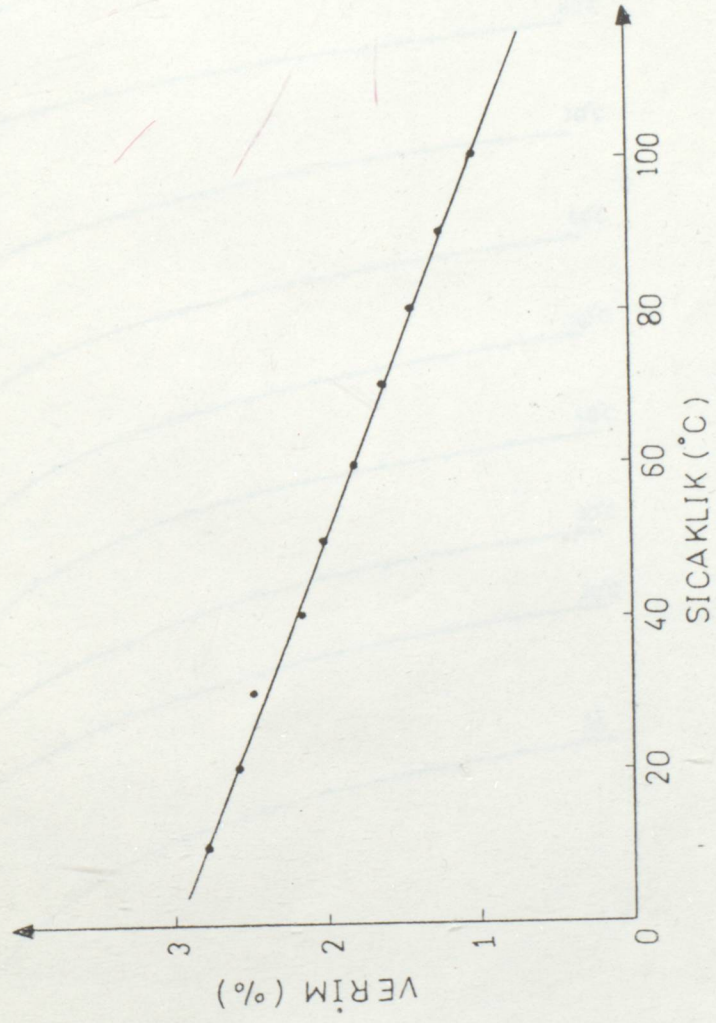
GRAFİK: 2



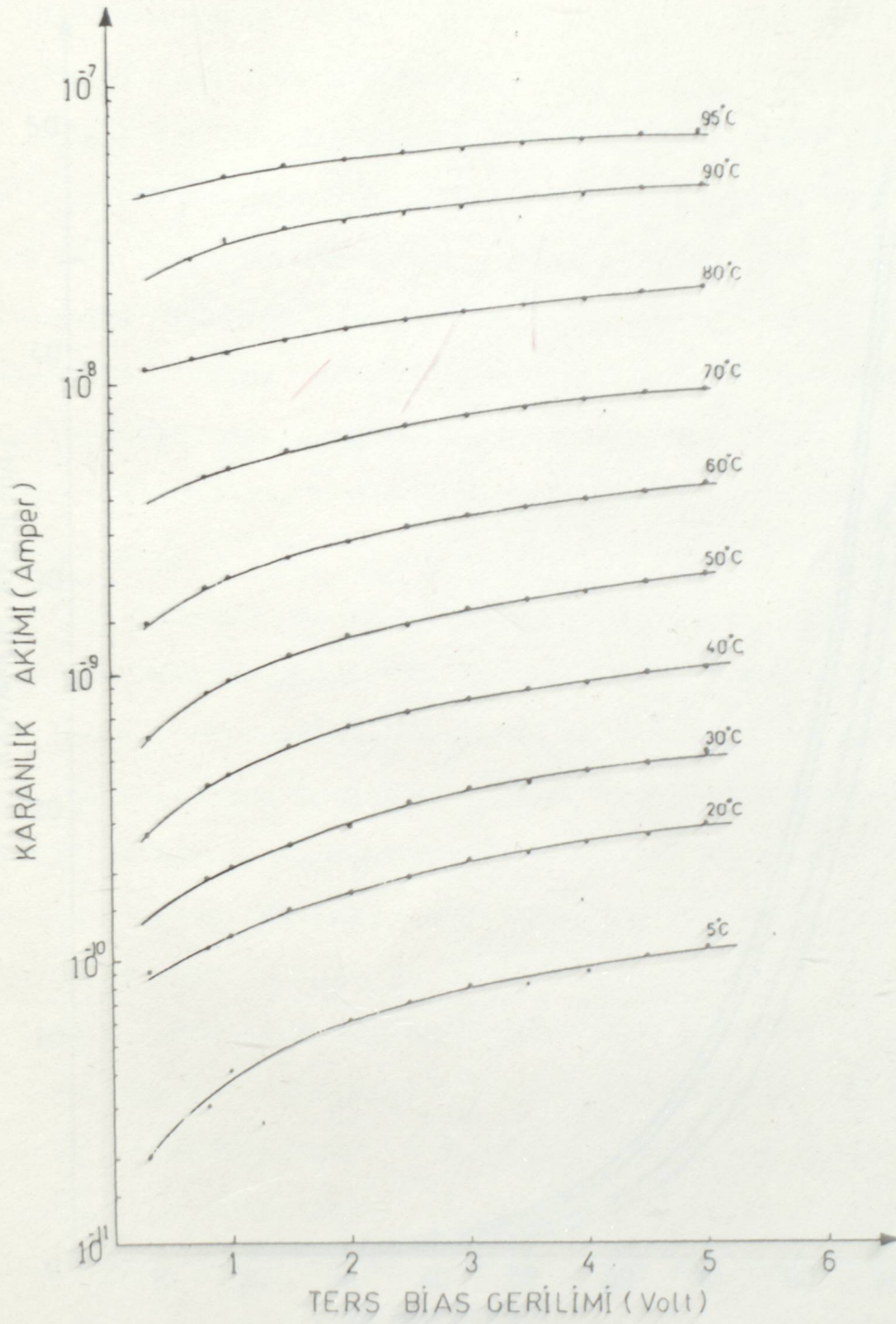
GRAFİK: 3



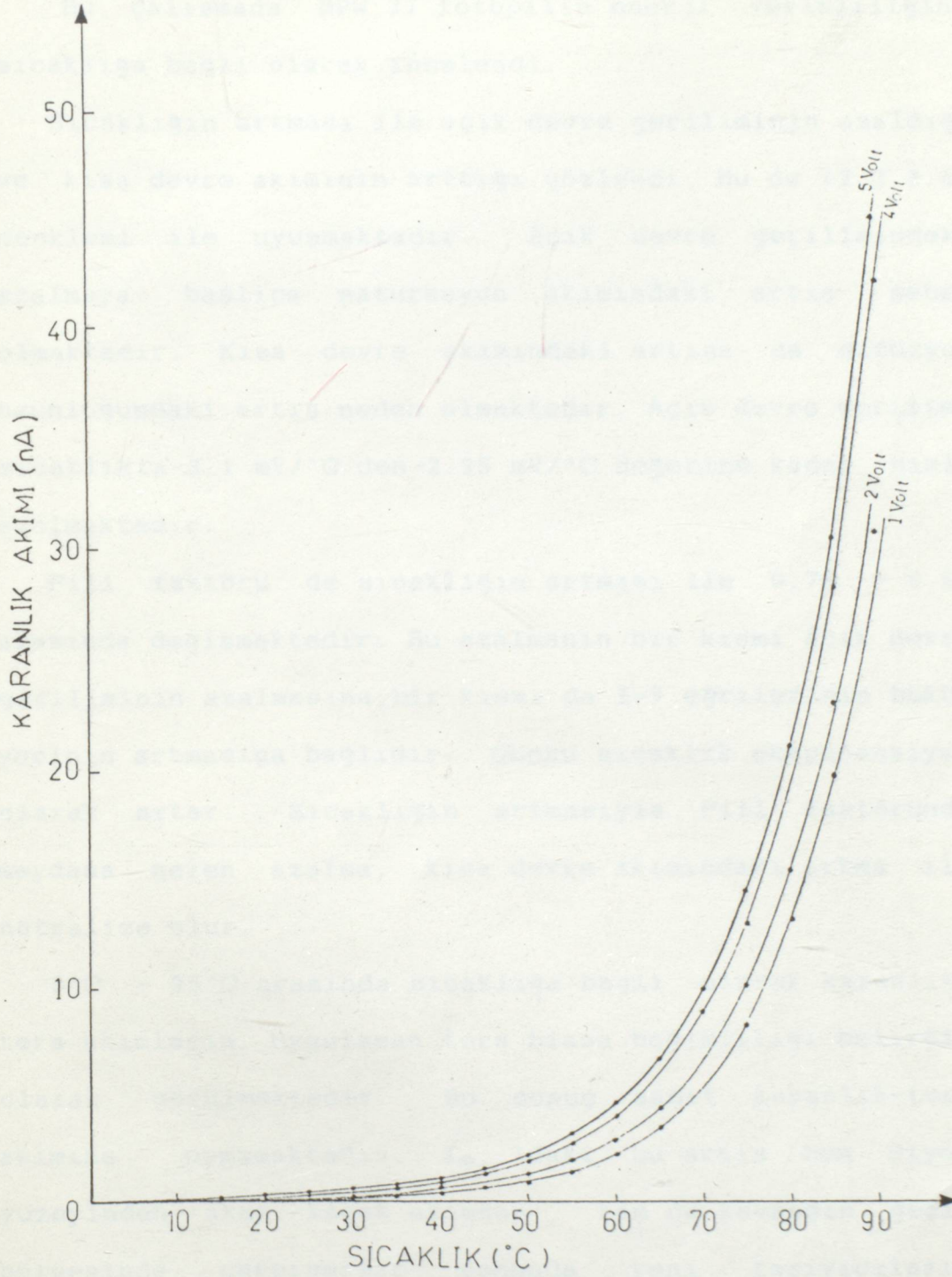
GRAFİK: 4



GRAFIK: 5



GRAFİK: 6



GRAFİK: 7

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada BPW 21 fotopilin enerji verimliliğinin sıcaklığa bağlı olarak incelendi.

Sıcaklığın artması ile açık devre geriliminin azaldığı ve kısa devre akımının arttığı gözlemlendi. Bu da (2.3.2.4) denklemi ile uyusmaktadır. Açık devre gerilimindeki azalmaya başlıca saturasyon akımındaki artış sebep olmaktadır. Kısa devre akımındaki artışa da difüzyon uzunluğundaki artış neden olmaktadır. Açık devre gerilimi sıcaklıkla $-3.1 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ den $-2.95 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ değerine kadar hızla azalmaktadır.

Fill faktörü de sıcaklığın artması ile $0.78 - 0.53$ arasında değişmektedir. Bu azalmanın bir kısmı açık devre geriliminin azalmasına, bir kısmı da I-V eğrilerinin büküm yerinin artmasına bağlıdır. Çünkü sıcaklık eksponansiyel olarak artar. Sıcaklığın artmasıyla Fill faktöründe meydana gelen azalma, kısa devre akımındaki artma ile nötralize olur.

$0^{\circ}\text{C} - 95^{\circ}\text{C}$ arasında sıcaklığa bağlı olarak karanlık-ters akımların, uygulanan ters biasa bağımlılığı belirgin olarak görülmektedir. Bu sonuç sabit karanlık-ters akımına uymamaktadır. I_0 'daki bu artış hem diyod yüzeyinden akan kaçak akımdan, hem de kavşağın geçiş bölgesinde çarpışmalar sonunda yeni taşıyıcıların üretilmesinden dolayı meydana gelmektedir. Sıcaklığın oda sıcaklığından 95°C 'ye kadar artması halinde karanlık-ters akımının 10^{-10} 'den 10^{-8} 'e kadar arttığı görülmektedir.

Verim, sıcaklığın artması ile azalır. Silisyum'un verimliliği, hızla düştüğünden piller 80°C den daha yüksek sıcaklıklarda çalışamazlar. Yarıiletkenin direkt aralıklı veya indirekt aralıklı olması da verimi etkilemektedir. Indirekt aralıklı yarıiletken kristallerin verimlilik bakımından direkt aralıklı olanlara göre daha saf ve kusursuz olmaları gereklidir.



BPW 21

Silizium-PN-Planar-Fotoelement/Fotodiode
Silicon PN Planar Photovoltaic Cell/Photodiode

Anwendung: Sensor für die Fotobelichtungs- und Farb-Meßtechnik

Application: Sensor in exposure and colour measuring purposes

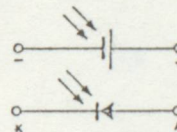
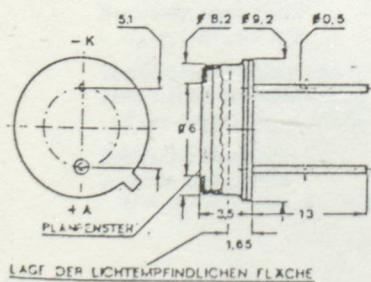
Besondere Merkmale:

- Für Fotodioden- und Fotoelement-Betrieb
- Hermetisches Gehäuse
- Planfenster mit eingebautem Farbkorrekturfilter, an die Augenempfindlichkeit angepaßt (sichtbarer Strahlungsbereich)
- Streng logarithmischer Zusammenhang zwischen Leerlaufspannung und Beleuchtungsstärke von 10^{-2} bis 10^5 lx im Fotoelementbetrieb
- Streng linearer Zusammenhang zwischen Kurzschlußstrom und Beleuchtungsstärke von 10^{-2} bis 10^5 lx im Fotoelement-Betrieb
- Aktivität 0,85...1,15
- Kein Lichtgedächtnis
- Kein Vorbelichtungsfaktor

Features:

- For photodiode and photovoltaic cell operation
- Hermetically sealed case
- Flat window with built-in colour correction filter (visible radiation)
- Log. correlation between open circuit voltage and illuminance from 10^{-2} till 10^5 lx in photovoltaic cell operation
- Linear correlation between short circuit current and illuminance from 10^{-2} till 10^5 lx in photovoltaic cell operation
- Activity 0.85...1.15
- No light memory effect
- No pre-exposure ratio

Abmessungen in mm
Dimensions in mm



Strahlungsempfindliche Fläche $A = 7,5 \text{ mm}^2$
Radiant sensitive area

Öffnungswinkel $\alpha = 100^\circ$
Angle of half sensitivity

Minuspol/Kathode mit Gehäuse verbunden
Negative terminal/cathode connected with case

≈ DIN 5 A 2
≈ JEDEC TO 5
Gewicht · Weight
max. 1,0 g

BPW 21

Absolute Grenzdaten

Absolute maximum ratings

Sperrspannung Reverse voltage	U_R	10	V
Umgebungstemperaturbereich Ambient temperature range	t_{amb}	-25...+100	°C

Wärmewiderstand

Thermal resistance

	Min.	Typ.	Max.
Sperrschicht-Umgebung Junction ambient			250 °C/W

Optische und elektrische Kenngrößen

Optical and electrical characteristics

$$t_{amb} = 25^\circ\text{C}$$

Fotoelement-Betrieb

Photovoltaic cell operation

Leerlaufspannung Open circuit voltage $E_A = 1 \text{ klx}^1)$	$U_O^*)$	280	380	mV
Temperaturkoeffizient von U_O Temperature coefficient of U_O $E_A = 1 \text{ klx}^1)$	TK_{U_O}		-2	mV/°C
Kurzschlußstrom Short circuit current $E_A = 1 \text{ klx}^1), R_L = 100 \Omega$	$I_K^*)$	4,5	7,0	µA
Kurzschlußempfindlichkeit Sensitivity, short circuit $E_A = 10^{-2} \dots 10^6 \text{ lx}^1)$	s_K	4,5	7,0	nA/lx
Temperaturkoeffizient von I_K Temperature coefficient of I_K $E_A = 1 \text{ klx}^1), R_L = 100 \Omega$	TK_{I_K}		-0,05	%/°C
Sperrschichtkapazität Junction capacitance $U = 0, f = 10 \text{ kHz}, E_A = 0$	C_j		1	nF

^{*)} AQL = 0,65%

¹⁾ Normlichtart A (DIN 5033/IEC 306-1)
Standard Illuminant A

BPW 21

Schaltzeiten
Switching characteristics
(siehe Meßschaltung)
(see test circuit)

$$I_{ph} = 100 \mu A, R_L = 1 k\Omega$$

Anstiegszeit
Rise time

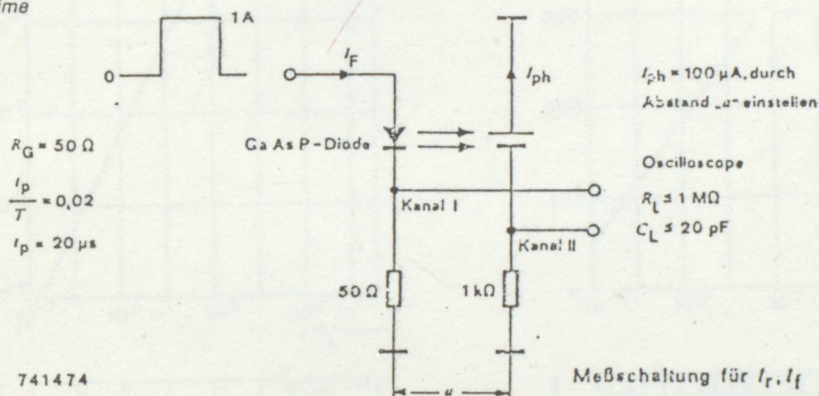
 t_r

3,5 μs

Abfallzeit
Fall time

 t_f

3,5 μs



Fotodioden-Betrieb
Photodiode operation

Dunkelsperrstrom
Reverse continuous dark current
 $U_R = 5 V, E_A = 0$

$I_{ro}^{*)}$ 2 30 nA

Hellsperrstrom
Light reverse current
 $U_R = 5 V, E_A = 1 klx^1)$

I_{ra} 4,5 7,0 μA

Absolute Empfindlichkeit
Sensitivity
 $U_R = 5 V, E_A = 10^{-2} \dots 10^5 lx^1)$

s 4,5 7,0 nA/lx

Fotoelement- und Fotodioden-Betrieb
Photovoltaic cell and photodiode operation

Wellenlänge der maximalen Empfindlichkeit
Peak wavelength sensitivity

λ_p 565 nm

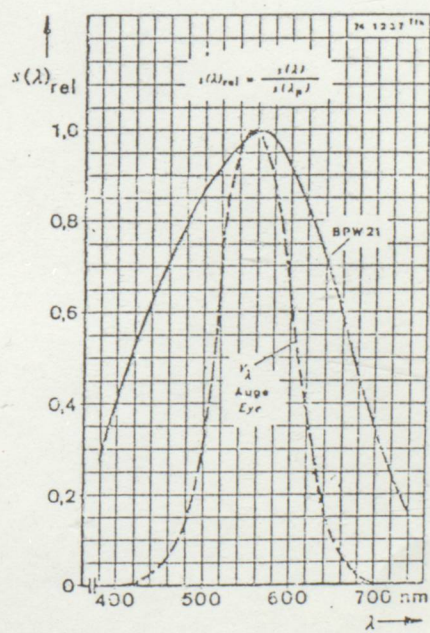
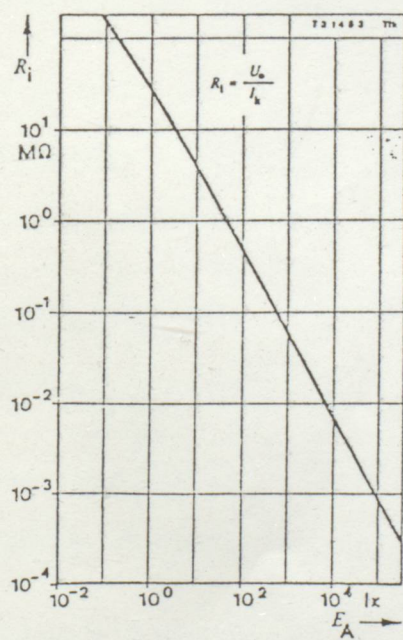
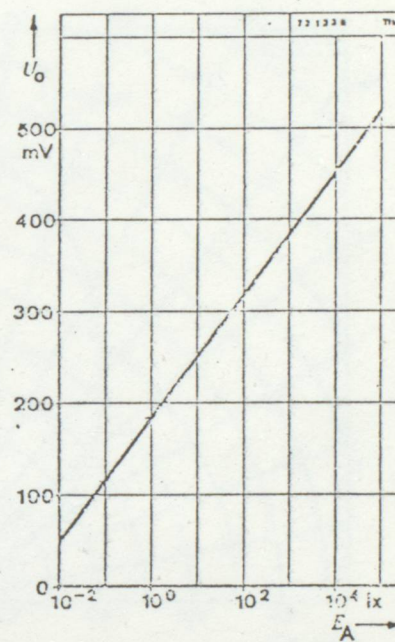
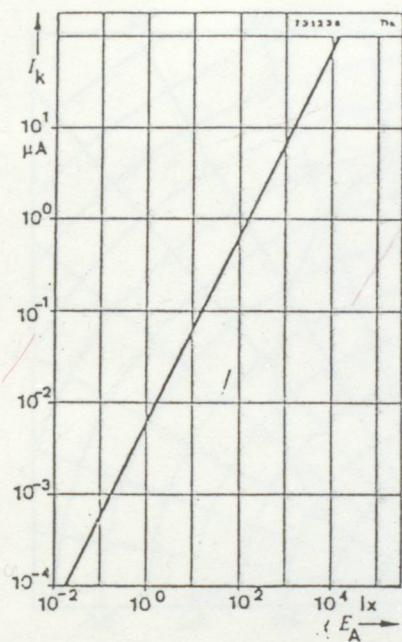
Bereich der spektralen Empfindlichkeit (50%)
Range of spectral bandwidth (50%)

$\lambda_{0,5}$ 420...675 nm

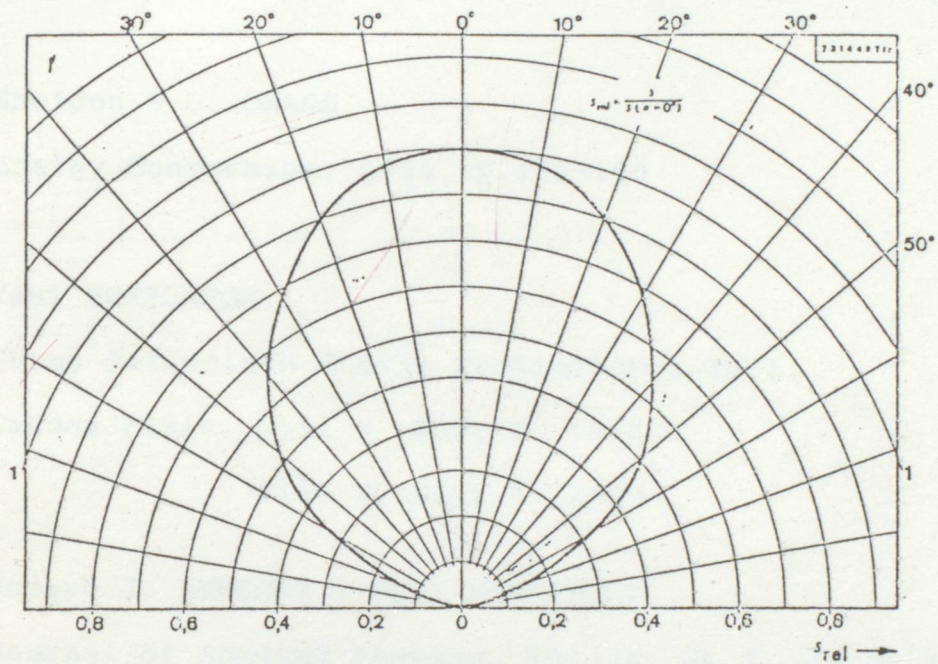
*) AQL = 0,65%

¹⁾ Normlichtart A (DIN 5033/IEC 306-1)
Standard illuminant A

BPW 21



BPW 21



7.KAYNAKLAR

- 1 - Ben G.STREETMAN
Solid State Electronic Devices, 1980, USA,p.137-149
- 2 - Sheldon S.L. CHANG
Energy Conversion, 1964, p.181-190
- 3 - Yani SKARLATOS
Güneş Pillerinin Enerji Üretimindeki Yeri
Çağdaş Fizik, Cilt 3 Sayı 2 1978
Cilt 4 Sayı 1 1979
- 4 - Joseph J. WYSOCKİ & Paul RAPPAPORT
Journal of Applied Physics, Vol.31, No 3, March 1960
- 5 - S.M.SZE
Physics of Semiconductor Devices
1981, John Wiley & Sons
- 6 - Işık KARABAY
Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi, 1988
- 7 - Muzaffer ORAL
Güneş Pilleri, Ege Üniversitesi, 1979
- 8 - Harold J.HOVEL
Semiconductors and Semimetals
1975, Academic Press

9 - A.Van der Ziel

Solid State Physical Electronics

1964, Prentice-Hall, P.101-117

10 - Vinod K.JAIN, C.R.JALWANIA, S.K.MEHTA & S.GANESAN

Solar Cells, Vol.23, No 3-4, April 1988, p.181-189

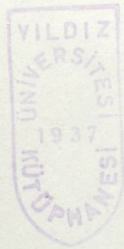
11 - Sait AKPINAR

Katıhal Fiziğinden Seçme Konular 5

12 - D.W.KAMMER & M.A.LUDINGTON

"Laboratory Experiments with Silicon Solar Cells"

Michigan, 12 Nov. 1976



ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında E.Cuma'da doğdu. İlkokul tahsilini değişik okullarda, orta öğrenimini Kandilli Kız Lisesinde tamamladı. 1986 yılında Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Fizik Bölümünü bitirdi. 1987 Yılından beri Yıldız Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



